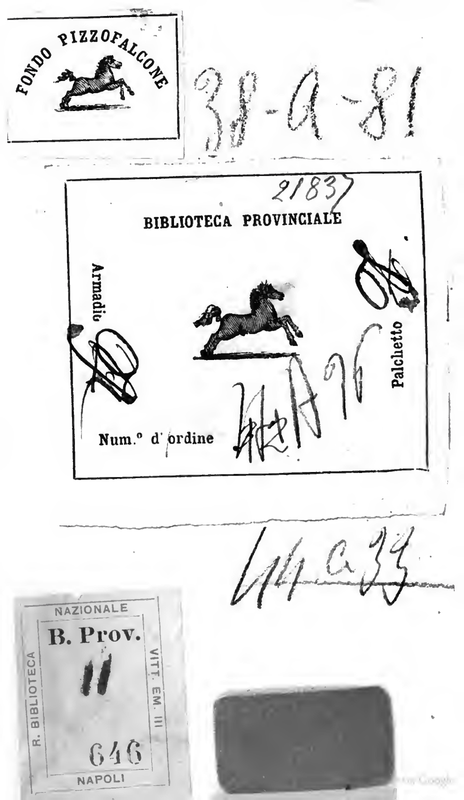




FONDO PIZZOFALCONE
BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine
NAZIONALE
B. Prov.
646
NAPOLI
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III

BIBLIOTHÈQUE

DES

LIVRES UTILES.

MÉCANIQUE

DES

OUVRIERS, ARTISANS ET ARTISTES.

1.

Autres Ouvrages de la Collection

EN VENTE CHEZ LE MÊME LIBRAIRE.

Le parfait Charpentier, par *Wolfram*, 1 volume in-12, orné de planches.

Perspective, Dessin et Peinture, par *Bulos*, 1 vol. in-12

Dictionnaire de Chimie, par *Vauquelin*, 1 vol. in-12.

Dictionnaire des inventions et découvertes, par *Boquillon*, 1 vol. in-12.

Manuel du Manufacturier, par *Pelouse*, 1 vol. in-12.

Mille recettes de ménage pour la conservation des substances alimentaires, par *Bulos*, 1 vol. in-12.

La Pharmacie des gens du monde, par *Brismontier*, 1 vol. in-12.

Manuel complet de la Ménagère et de la maîtresse de maison, par *Mme Demarson*, 2 vol. in-12.

Géométrie des ouvriers et des artistes, par *Teyssèdre*, 1 vol. in-12, orné de planches.

Manuel de l'Agriculteur, ou l'art de préparer les terres et les engrais, par sir *Humphry Davy*, 1 vol. in-12.

Chimie appliquée aux manufactures, aux arts et à l'agriculture, par *E. Martin*, 2 vol. in-12.



Le Guide classique du Voyageur en France et en Belgique, de *Richard*, 1 vol. in-12, orné d'une carte routière, de plans et de vues. 7 fr. 50 c.

Le même, 1 vol. in-18, édition abrégée. 5 »

Le même, 1 vol. in-32, id. 3 »

Guides et Cartes routières pour tous les pays.

Paris Imp. de F. Locquin, r. N.-D. des Victoires.

MÉCANIQUE

DES OUVRIERS,

ARTISANS ET ARTISTES,

TRADUITE DE L'ANGLAIS SUR LA 9e ÉDITION,

Par M. BULOS,

TRADUCTEUR DE LA CHIMIE AGRICOLE.

TOME PREMIER.

Application à la construction des Moulins, des Voitures & des Engrenages de toute espèce.

PARIS

LIBRAIRIE DE MAISON,

Quai des Augustins, 29.

—

1843





MÉCANIQUE.

La mécanique est la géométrie du mouvement; elle se divise en pratique et en rationnelle. La première traite des six puissances mécaniques, dont une ou plusieurs composent chaque machine; la deuxième comprend la théorie du mouvement, apprend à se servir de la puissance ou de la force qui le détermine, et donne, quand il est produit, la mesure de ces mêmes forces.

De la matière.

Chacune des branches de la physique a son point de vue particulier, et considère la matière sous une face spéciale. Nous ne considérerons ici que celles qui se rapportent à la mécanique.

Les termes *matière*, *substance*, *corps*, souvent employés comme synonymes, ne le sont cependant pas.

Le mot *matière* indique tout ce qui est capable de résistance, qui se pèse, quelle qu'en soit la figure ou la quantité.

Le mot *substance* tire son étymologie de la préposition latine *sub* (sous) et du verbe *stare* (demeurer); il approche beaucoup de la signification du terme matière; il indique qu'elle existe ou demeure sous les différentes formes ou apparences où elle se présente à nos sens. Sa signification est cependant plus restreinte, et il est souvent accompagné de l'article, pour indiquer une portion particulière de la matière.

Corps vient du saxon, et signifie originairement la personne ou la forme d'un homme ou autre créature; ainsi ce mot doit servir seulement à désigner une substance qui possède une forme définie.

Un examen rapide des propriétés générales de la matière, nous donnera une idée plus juste de sa nature, que ne feroient toutes les définitions possibles. Quelques espèces de matière, comme les métaux, le bois, la pierre, etc., sont visibles, ce qui tient à leur opacité ou au pouvoir qu'ils ont de réfléchir quelques uns ou tous les rayons de lumière qui viennent les frapper. D'autres espèces de matière sont invisibles, à cause de leur transparence parfaite: l'existence de celles-ci n'est constatée que par leurs effets. Dans cette classe sont rangés les gaz, l'air atmosphérique, celui que nous respirons, par exemple. Quoique entièrement

invisible quand il est sec et pur, il est cependant de la matière, aussi bien que le fer ou les corps les plus durs de la nature.

Les principales propriétés de la matière sont, la solidité, l'étendue, la divisibilité, la mobilité, l'inertie, l'attraction et la répulsion.

La *solidité* est l'opposé de la fluidité; elle exprime la propriété que possède chaque corps, de ne pas permettre qu'un autre occupe la même place que lui, dans le même temps. Ce fait est un axiome de physique incontestable. Si un morceau de bois ou de pierre occupe un certain espace, il faut qu'on le déplace avant qu'un autre puisse être mis à la même place. Les fluides paroissent faire exception parce qu'ils n'opposent pas de résistance, mais c'est qu'ils sont extrêmement mobiles et qu'ils cèdent facilement à la moindre pression; ils sont du reste dans le cas dont il s'agit; c'est une loi à laquelle ils ne font pas exception. L'obstacle est aussi réel dans cette circonstance que dans celle de la substance la plus solide : le piston d'une seringue remplie d'eau ne peut être abaissé, si l'ouverture de l'ajutage est fermée, et on ne peut comprimer un soufflet rempli d'air, si on a bouché le trou du tuyau de sortie. Sous ce point de vue, la solidité de la matière est la même chose que

ce que quelques écrivains appellent impénétrabilité. Ce mot, dans le langage ordinaire, désigne la propriété de n'être pas facilement séparé en parties, signification très-différente de celle qui est attachée au sens que nous venons d'exposer.

L'*étendue* est une autre propriété de la matière, qui est inséparable de son existence. L'idée que nous donne, de la solidité, la résistance des corps, et l'impossibilité que deux de ceux-ci existent identiquement à la même place, nous prouvent que la matière est étendue, et qu'elle occupe une certaine portion de l'espace.

La *divisibilité* est cette propriété de la matière qui permet de la séparer en plusieurs parties. Nous ne pouvons concevoir une particule de matière, si petite qu'elle soit, qui n'ait deux moitiés; et de là nous sommes conduits directement à conclure que la matière est susceptible d'être divisée à l'infini. Mais quelque naturel que paroisse ce raisonnement, il a rencontré beaucoup d'opposition. Poser en principe, a-t-on dit, que la matière est divisible à l'infini, c'est reconnoître que sa substance n'a pas eu de commencement, qu'il n'y a pas de limites entre la matière et rien, et qu'une chose finie a des propriétés infinies. Telles étoient les difficultés qu'on opposoit à

la divisibilité de la matière, lorsque Newton vint fermer la discussion. Il démontra les lois qui la régissent, exposa sa formation primitive, par des particules ou des atomes solides, massifs, impénétrables, avec des formes, des grandeurs, des propriétés particulières à chacun des corps qu'ils devoient produire. Il admit que ces atomes sont plus solides, plus durs qu'aucun des corps qu'ils composent, et incapables d'être brisés ou séparés, puisqu'il n'y a que le Créateur qui puisse détruire ce que le Créateur a fait. Leur nature est durable ; les changemens que subissent les corps proviennent des séparations, des combinaisons nouvelles dans lesquelles entrent ces mêmes atomes, et quand un corps se rompt, ce n'est pas dans le milieu des parties solides que se fait la fracture, mais dans leurs points de réunion. Cette théorie sauve les embarras de la métaphysique ; mais nous recevons comme certain, ce que nous ne pouvons prouver directement. Ces propositions qui n'acquièrent de poids que par l'absurdité des suppositions contraires, obtiennent presque l'autorité d'une démonstration rigoureuse; et, quoique les conjectures de Newton sur ses atomes indestructibles aient été rejetées pendant près d'un siècle, elles sont admises aujourd'hui, non parce qu'elles sont

devenues plus probables, mais parce qu'elles coïncident avec les phénomènes de la nature, et qu'il est difficile de les nier. L'extrême ténuité de certaines substances n'est pas une preuve contre leur composition de particules parfaitement solides; si une vessie est tendue sur l'ouverture supérieure d'une cloche placée sur une machine pneumatique, et qu'on fasse le vide, l'air atmosphérique pressant sur l'extérieur, brisera la vessie pour remplir la cloche, et produira un bruit semblable à celui d'une arme à feu. Cet effet ne peut être produit sans l'intervention des particules solides de l'air. Ainsi, il semble impossible de reconnoître le pouvoir des agens les plus subtils de la nature, si leurs atomes primitifs, quelque petits qu'ils puissent être, n'ont pas une solidité égale à celle des corps qui nous paroissent les plus durs. Quoique la vitesse du fluide électrique soit prodigieuse, elle n'est pas suffisante pour produire à elle seule l'effet qu'on remarque sur les corps d'une texture serrée : il faut qu'il contienne en lui-même des principes de dureté.

Ces considérations exposées, nous allons passer en revue des exemples qui prouveront que la divisibilité peut être portée à un terme, capable de surpasser l'imagination, et d'approcher aussi près que l'entendement humain

peut le faire, de l'idée de l'inconcevable petitesse des atomes qui constituent la matière. Une livre de coton peut être filée de la longueur de plus de 100 milles. Boyle parle d'un fil de soie de 300 mètres de long, qui ne pesoit que 3 grains et demi. Mais la ductilité de l'or est encore plus étonnante. Un grain de ce métal peut être étendu par le batteur d'or, en une feuille capable de couvrir un espace de 50 pouces carrés, et divisée en deux millions de parties visibles. L'or qui couvre le fil d'argent employé à faire du galon, est étendu sur un espace douze fois plus grand que celui que nous venons d'indiquer. Pour faire ce fil, on dore fortement une barre cylindrique d'argent, et on la passe ensuite par des trous de filière qui vont toujours en diminuant. De cette manière, la surface est prodigieusement augmentée, mais le fil reste doré et conserve une apparence uniforme, même quand on l'examine au microscope. Seize onces d'or qui n'occupent que l'espace d'un pouce et un quart cube, peuvent dorer complètement un fil assez long pour faire le tour de la terre. Les particules métalliques dans les solutions acides sont encore plus divisées. Un grain de cuivre dissous dans une once d'acide nitrique étendu, peut communiquer une couleur verte à 43,5 litres d'eau,

ou couvrir mille pouces carrés de fer, d'une couche de cuivre.

Les corps qui agissent sur l'odorat ne peuvent le faire qu'aux dépens de leur substance; mais la perte qu'ils font est si petite, et leurs parties volatiles si prodigieusement divisées, qu'il faut un temps considérable pour apercevoir une diminution sensible dans leur volume. Un grain de musc est capable de remplir de son odeur, pendant 20 ans, un appartement dont l'air se renouvelle tous les jours. La poudre, par son explosion, prend 244 fois le volume qu'elle avoit à l'état solide, et l'eau en se vaporisant en prend un 1000 fois plus grand que celui qu'elle avoit lorsqu'elle étoit sous forme fluide.

Les observations microscopiques ne nous montrent pas des choses moins étonnantes. Lowenhoeck a découvert dans la laite d'une morue un plus grand nombre d'animalcules qu'il n'y a d'habitans sur la terre, et il a calculé que mille millions des animalcules qu'il a aperçus dans l'eau commune, ne feroient pas ensemble le volume d'un grain de sable. Mille de ces animalcules peuvent se tenir sur la pointe de la plus fine aiguille, et si nous supposons qu'ils sont pourvus de sang comme les autres animaux, et que les globules de ce fluide sont proportionnés à leur volume,

comme ceux d'un homme à son corps, le plus petit grain de sable qu'on puisse apercevoir en contiendroit plus que dix mille des plus hautes montagnes ne renferment de grains de sable. Quand nous considérons les plus petits objets au microscope, nous sommes étonnés des innombrables particules de lumière qui sont renvoyées à nos yeux de chacune de leurs parties; nous devons désirer connoître le volume de ces particules de lumière. Le résultat de telles recherches passeroit notre conception, si un calcul fait avec soin ne nous avoit déjà appris la ténuité de ces molécules; une particule de lumière a été estimée à $\frac{1}{30,831,230,128,000}$ partie d'un grain.

Ainsi, on voit que la matière est plus divisible que nous ne pouvions le concevoir. D'un autre côté, il est presque certain que le plus dur et le plus compacte des corps est plein de pores ou d'interstices, ses particules ne devant pas être en contact parfait et se toucher par tous les points. La preuve en est que le froid les contracte, et que cette contraction seroit impossible si leurs particules étoient incapables d'approcher plus près l'une de l'autre.

Mobilité exprime la propriété qu'a la ma-

tière de passer d'une position ou d'une partie de l'espace à une autre.

L'espace est une idée abstraite qu'on ne peut décrire que par les propriétés qui lui manquent. Son extension ou sa capacité est sans limites, et elle ne consiste pas en parties susceptibles d'une séparation actuelle ; ainsi, sa division est hypothétique : elle ne peut en aucune façon s'opposer au passage des corps ; parfaitement uniforme dans toutes ses parties, celles-ci ne peuvent être distinguées l'une de l'autre, que par les corps qu'elles reçoivent. Quand une longueur donnée, comme celle d'un mètre, d'un mille, nous est devenue familière, nous pouvons multiplier ces mesures en aussi grand nombre qu'il nous plait, sans y joindre l'idée de corps : c'est ainsi que nous obtenons celle de l'immensité.

L'*inertie* désigne l'état passif de la matière qui resteroit éternellement dans l'état où elle se trouve, si une cause quelconque ne venoit la mettre en mouvement, et qui, si elle y étoit déjà, l'y retiendroit et ne la laisseroit pas dévier, à moins qu'elle ne rencontrât quelque obstacle. Qu'un corps en repos ne puisse se mouvoir par lui-même, cela se conçoit facilement; mais qu'il ait une tendance à continuer le mouvement qui lui a été communiqué, c'est une chose contraire à l'expérience

journalière, et qui demande une explication. Nous ne pouvons produire aucune espèce de mouvement qui ne diminue par les obstacles qu'il rencontre. Ces obstacles sont : la gravitation, la résistance de l'air et le frottement. La gravitation, comme nous l'expliquerons plus loin, agit d'après des lois fixes qui ne peuvent être changées ni modifiées par aucune puissance humaine ; la résistance de l'air peut être diminuée à l'aide d'une machine pneumatique, mais ce moyen n'est pas susceptible d'applications bien étendues ; enfin, le frottement est le seul obstacle que nous puissions réellement diminuer, et lorsque nous y sommes parvenus, nous trouvons que le mouvement communiqué à un corps par une impulsion donnée, est tellement augmenté, que nous ne pouvons hésiter de considérer l'action de la gravitation et de la résistance de l'air combiné avec le reste du frottement qui n'a pas été détruit, comme les seules causes qui puissent le faire cesser. Si une boule est lancée sur un pavé raboteux, elle s'arrêtera bientôt; si elle roule sur un plancher uni, la même force la fera aller beaucoup plus loin; enfin, si elle est polie, et qu'elle soit projetée sur une surface parfaitement plane, dure et unie, elle parcourra peut-être 500 toises à l'aide d'une force qui ne lui en au-

roit peut-être pas fait franchir 20 sur le pavé raboteux ; ainsi, comme le raisonnement confirme l'explication donnée de l'inertie de la matière, il semble absurde de supposer que celle-ci, une fois mise en mouvement, s'arrête sans une cause, comme aussi qu'elle s'y mette d'elle-même.

L'*attraction* est la propriété qu'ont les corps de s'approcher les uns des autres. Les physiciens distinguent cinq espèces d'attraction : l'attraction de cohésion, de gravitation, d'électricité, de magnétisme, et l'attraction chimique. Les deux premières seules nous intéressent.

L'attraction de *cohésion* n'a lieu qu'entre les corps qui sont à une très-courte distance ; on peut la rendre sensible de plusieurs manières. Deux morceaux de plomb, par exemple, bien plans et polis, pressés fortement l'un contre l'autre, adhéreront presqu'autant que s'ils étoient réunis par de la soudure : des plaques de verre, de marbre et d'autres substances produisent le même phénomène. Cette cohésion n'est pas seulement due à l'exclusion de l'air atmosphérique entre les deux surfaces, puisqu'elle a lieu dans le vide.

On suppose que la force de l'attraction de cohésion, différente dans chaque espèce de matière, est la cause des divers degrés de du-

reté des corps. Elle est très-foible dans les fluides ; cependant ces substances ont une disposition à s'unir. On peut verser un fluide dans un vase jusqu'à ce qu'il s'élève au-dessus du bord, parce que l'attraction qui unit ses particules les empêche jusqu'à un certain point d'écouler. C'est par la même raison que les gouttes de rosée sur les feuilles des plantes, et l'eau jetée sur un plancher poudreux, prennent la forme globuleuse ; de petites portions de mercure placées près l'une de l'autre, s'unissent et se confondent.

Un fluide contenu dans un vase qu'il ne remplit pas, affecte une forme concave et s'élève vers ses bords. Quand on plonge une plaque de verre dans l'eau, celle-ci s'attache à ses parois et s'élève au-dessus du niveau. Si on en plonge une seconde dans la même masse, parallèlement à la première et à une très-petite distance, le fluide se détache du plan que forme le liquide, et d'autant plus que les deux plaques sont près l'une de l'autre. Si l'eau est noircie par un peu d'encre et qu'on y plonge perpendiculairement un tube de verre très-étroit, on la verra distinctement s'élever à une hauteur considérable. Tous les effets de cette nature, comme l'ascension de l'eau dans une éponge ou autre corps poreux, sont dus à l'attraction capillaire, qui

n'est qu'une modification de celle de cohésion.

L'attraction de *gravitation* diffère de la première, en ce qu'elle s'exerce à toute distance et d'une partie de la matière à l'autre. C'est ce principe qui sert de base à la physique de Newton. Les planètes et les comètes gravitent entre elles par rapport au soleil, comme cet astre le fait par rapport à elles. La puissance de gravitation d'un corps est toujours proportionnelle à la quantité de matière qu'il contient, et les corps célestes ne sont retenus dans leur orbite que par le balancement de leur action réciproque. Un effet de gravitation familier à tout le monde, est cette tendance qu'ont les corps à tomber sur la terre. Cette tendance s'exerce toujours vers un point qui est exactement au centre de la terre ou en approche beaucoup ; conséquemment, les corps tombent perpendiculairement à sa surface ; de l'autre côté du globe ils tombent suivant une direction contraire, ou l'un vers l'autre. La pression qu'exercent les corps pour atteindre la plus basse situation ou le plus près du centre de la terre possible, est ce qui constitue leur poids. Toutes les substances ont un certain degré de gravité, et, par conséquent, leur poids particulier. La fumée et les vapeurs en ont un ; la cause de leur élévation dans l'at-

mosphère est la même que celle qui fait nager un corps sur l'eau; elles sont moins lourdes qu'un égal volume d'air.

Comme la force de gravitation est toujours proportionnelle à la quantité de matière, le plus compacte et le plus léger, le plus grand et le plus petit corps, parcourent des espaces égaux dans des temps égaux, à moins qu'ils ne tombent à travers un milieu résistant, qui agit plus sur ceux qui ont un plus grand volume sous le même poids. Si on jette en même temps du haut d'une maison, une pièce de monnoie et une plume, personne ne sera embarrassé pour dire celui des deux corps qui tombera plus tôt sur la terre : mais dans le vide leur chute est simultanée. La pièce de monnoie qui contient plus de matière solide que la plume, demande plus de force pour être mise en mouvement, mais comme le pouvoir attractif est proportionnel à la quantité de matière, sa vitesse n'est pas plus grande que celle d'un corps qui requiert moins de force pour être mis en mouvement. Les vibrations du pendule fournissent une autre preuve que la gravité des corps est proportionnelle à la quantité de matière. Quand les tiges sont égales, elles décrivent des arcs égaux, et acquièrent constamment une vitesse égale aux points correspondans de leurs

arcs; leurs vibrations sont conséquemment faites dans des temps exactement égaux, quoique les matériaux dont elles sont composées diffèrent en volume et en densité. La résistance de l'air est exclue dans cette expérience, parce qu'elle agit inégalement sur différens corps, comme nous venons de le voir dans le cas de la pièce de monnoie et de la plume.

La force de gravité est à peu près égale dans tous les lieux situés à une égale distance du centre de la terre : celle-ci n'est cependant pas un globe parfait, elle est légèrement aplatie aux deux côtés opposés et ressemble à peu près à une orange. Ses parties sont déprimées aux pôles, et le diamètre polaire est d'environ 54,716,370 mètres moindre que le diamètre équatorial. La surface de la terre à l'équateur étant d'environ 112,651,358 mètres plus éloignée du centre qu'aux pôles, la force de gravité est beaucoup moindre à ceux-ci. C'est par cette raison qu'un pendule calculé pour battre les secondes dans les régions polaires, doit être raccourci pour les vibrer sous l'équateur; et que les corps y perdent 1/230 partie du poids qu'ils avoient aux pôles.

La force de gravité, pour un lieu donné, est la plus grande possible à la surface de la terre; elle décroît au-dessus et au-dessous, mais non

pas dans la même proportion. Au-dessus elle décroît comme le carré de la distance augmente ; ainsi, à une distance double de ce point au-dessus de la surface, la force n'est que le quart de ce qu'elle étoit à cette surface. Le rayon de la terre est, en nombres ronds, de 6,437,220 mètres à partir du centre, et quand un corps pesant 4 livres à cette surface, tombe de 16 pieds en une seconde de temps, pris à une double distance il ne pèse plus qu'une livre, et la vitesse de sa chute n'est plus que de 4 pieds dans le même espace de temps. Sous la surface de la terre, la force de gravité diminue de manière que son intensité est en raison directe de la distance du centre, et non comme son carré ; ainsi, à la distance de 3,218,610 mètres, qui est la moitié du demi-diamètre, la force seroit la moitié de ce qu'elle est à sa surface ; à un tiers du demi-diamètre, elle seroit seulement le tiers, et dans la même proportion pour toutes les autres distances. Mais quoique la force de gravité varie, strictement parlant, comme nous venons de le montrer, à mesure qu'on s'éloigne de la surface, on peut la considérer comme uniforme à une courte distance, 5 ou 600 mètres apportant une trop petite différence par rapport au rayon de la terre, pour influer sur les calculs.

Comme la force de gravité appartient à chaque partie de la matière, et que celle de gravitation des corps entiers comprend toutes celles des molécules dont ils se composent, la gravité d'une partie de la terre contrarie quelquefois celle de sa masse. Ainsi, l'attraction qu'exerce une haute montagne sur le fil à plomb qu'on a tendu à sa base, le fait un peu dévier de la perpendiculaire.

L'espace parcouru par un corps qui tombe librement, est de 16 pieds et 1/12 dans la première seconde de temps, pour la latitude de Londres; et pour d'autres temps plus ou moins grands, les espaces parcourus sont directement proportionnels au carré du temps, si le corps n'est pas très-éloigné de la surface de la terre.

Deux corps, contenant une égale quantité de matière, placés à une certaine distance l'un de l'autre, et en parfaite liberté dans l'espace, s'ils ne sont pas influencés, tomberont l'un sur l'autre avec une vitesse accélérée, et se rencontreront à un point qui est exactement le milieu de la distance qui les séparoit. Mais si ces deux corps, contenant une quantité inégale de matière, étoient placés dans les mêmes circonstances, ils tomberoient avec des vitesses qui seroient en raison inverse de leur quantité respective de matière, et se mouvant comme dans le premier

cas par un mouvement accéléré, ils se rencontreroient dans un point beaucoup plus près de celui d'où le plus pesant a commencé sa chute, attendu que la quantité de matière de l'un excède celle de l'autre.

L'accélération que la gravité donne à la chute des corps est un effet de son action uniforme dans toutes les circonstances. Supposons un corps qui tombe de 1,609,305 mètres dans une minute; au bout de ce temps il auroit acquis une vitesse suffisante pour lui en faire parcourir 3,218,610 dans la minute suivante, s'il ne recevoit pas de nouvelle impulsion de la gravité; mais comme cette cause accélératrice reste la même, elle ajoute de nouveau 1,609,305 mètres, à l'effet qu'elle a produit dans la première minute; de manière qu'à l'expiration des deux minutes le corps aura parcouru 6,437,220 mètres.

Les espaces décrits par un mouvement uniforme accéléré, sont toujours comme les nombres impairs 1, 3, 5, 7, etc., et conséquemment les espaces sont comme les carrés des temps, ou de la moindre vitesse acquise, car l'addition continue de ces nombres impairs produit les carrés de tous les nombres, à partir de l'unité. Ainsi 1 est le premier nombre impair, et 1 est le carré de 1; 3, le nombre suivant, ajouté à 1, fait 4, qui est le carré de 2; 5,

ajouté à 4, fait 9, carré de 3, et ainsi de suite. Les temps et les vitesses sont constamment comme 1, 2, 3, 4, etc., et les espaces parcourus comme 1, 3, 5, 7, etc. Ainsi, les espaces décrits

en une minute seront	..........1, qui est le carré de.	1
2 minutes	............1+3 = 4...........	2
3 minutes	..........1+3+5 = 9...........	3
4 minutes	........1+3+5+7 =16...........	4

De là, il est évident que les espaces parcourus en différens temps par un corps qui tombe, sont entre eux comme les carrés des temps au commencement de la chute, ou, ce qui est la même chose, comme les carrés des vitesses acquises à la fin de ces temps.

Le mouvement d'un corps qui tombe, étant uniformément accéléré par la gravité, la même cause retarde uniformément un corps lancé en l'air. Un corps projeté perpendiculairement avec une vitesse égale à celle qu'il auroit acquise en tombant d'une hauteur donnée, montera à cette même hauteur avant de perdre toute sa vitesse.

La *gravité* et le poids ne sont pas la même chose. La gravité est une puissance dont le poids est l'effet. La gravité a une tendance constante à imprimer à chaque partie d'un corps, une certaine vitesse, qui le feroit tomber s'il n'étoit pas retenu; le poids est la résistance

nécessaire pour détruire cette vitesse ou faire le support.

Quand on considère les découvertes merveilleuses qui signalent ce siècle, il est impossible de fixer des limites aux progrès des sciences ; cependant il ne paroît pas probable qu'on découvre jamais la cause de la gravité. Nous sommes environnés des preuves de l'existence d'une telle puissance ; son influence s'étend sur le système solaire et sur toute la matière. Newton avoit conjecturé que celle-ci étoit composée d'atomes solides et indivisibles, comme nous l'avons expliqué ; mais si ces atomes sont parfaitement solides, ils ne peuvent être pénétrés ; s'ils ne peuvent être rompus ou séparés, comment peuvent-ils émettre quelque chose ? et si ces atomes ne peuvent rien recevoir ni rien donner, comment peuvent-ils agir à toutes les distances sur chaque portion de la matière qui remplit l'univers ? ou comment une aggrégation d'atomes peut-elle posséder une puissance incompatible avec la nature de ses parties constituantes ? Tels sont, en partie, les argumens qu'on oppose à ce système ; notre but n'est pas de discuter ces théories, mais nous devons, pour l'amusement de nos lecteurs et pour exercer leur jugement, les signaler et passer outre. Dans plusieurs branches de nos connoissances, nous



découvrons mille preuves que les effets que nous observons sont produits par des causes secondaires, sans pouvoir nous expliquer la nature de ces causes; la gravité doit être considérée comme un terme qui exprime un fait ou un phénomène.

La *répulsion* est la dernière propriété de la matière dont nous ayons à nous occuper. Plusieurs considérations engagent les physiciens à admettre une sphère de répulsion, qui s'étend à une petite distance autour des corps et empêche qu'ils ne viennent en contact, à moins qu'une autre force ne vainque cette résistance et ne produise l'attraction de cohésion. Le docteur Knight définit la répulsion, la cause qui fait que les corps tendent à s'éloigner les uns des autres, avec des forces différentes, à différens temps, et il croit qu'une telle force existe dans la nature : 1° parce que tous les corps sont électriques ou peuvent l'être, et que les corps électrisés s'attirent et se repoussent; 2° que l'attraction et la répulsion sont très-sensibles dans les corps magnétiques; 3° que Newton a démontré que les surfaces de deux verres convexes se repoussent; 4° que le même philosophe a expliqué l'élasticité de l'air en supposant que ses molécules se repoussent mutuellement; 5° que les particules de lumière sont, au moins en par-

tie, repoussées par la surface de tous les corps; 6° enfin qu'il est très-probable que ces particules se repoussent l'une l'autre, comme celles de l'air. Le docteur ajoute que l'attraction et la répulsion étant contraires, ne peuvent à la fois appartenir à la même substance, et suppose qu'il y a dans la nature deux espèces de matières, l'une répulsive, et l'autre attractive; que les particules qui se repoussent sont sujettes aux lois générales de l'attraction à l'égard des autres. Supposant que la matière répulsive est également répandue partout, il attribue à son action une multitude de phénomènes. Le temps et l'expérience peuvent seuls apprendre si tous les effets de la répulsion s'expliqueront par cette hypothèse.

Dans l'exemple dont nous avons déjà parlé, celui des gouttes de rosée sur les feuilles des plantes, on suppose que la forme globuleuse est due non seulement à une force attractive qui s'exerce entre les molécules du fluide, mais encore à une force répulsive qui agit entre elles et la feuille sur laquelle elles sont suspendues. Ces gouttes ne sont pas en contact parfait avec la feuille, puisqu'on peut les faire rouler avec facilité et sans les déformer; leur blancheur et leur apparence perlée sont produites par la réflexion des rayons de la lumière blanche sur la partie aplatie contiguë à la plante,

ce qui n'auroit pas lieu s'il n'y avoit un intervalle réel entre le dessous de l'une et la surface de l'autre. Cette force de répulsion peut, dans certains cas, faire nager sur des liquides, des métaux beaucoup plus pesans qu'ils ne le sont eux-mêmes. Posez doucement sur la surface de l'eau une aiguille fine, elle surnagera et pourra être enlevée par un aimant, sans avoir réellement touché le fluide. Elle n'est pas assez pesante pour vaincre la puissance de répulsion qui existe entre elle et l'eau; l'attraction de cohésion ne peut ainsi s'exercer, et, quoique plus pesante qu'un pareil volume d'eau, l'aiguille flottera jusqu'à ce qu'elle soit poussée par une force plus grande que son propre poids. Il paroît que c'est cette cause qui soutient certaines mouches qui marchent sur l'eau, et qui empêche l'huile de se mêler à ce fluide. Les plumes des oiseaux aquatiques, qui sont couvertes d'une couche mince d'huile, repoussent l'eau dont elles sont environnées.

Du mouvement.

Il est difficile de donner une définition satisfaisante du mouvement. Il exprime une idée qui ne peut être rendue par des mots plus simples que lui-même. Il a été appelé un changement de place, ou l'action par laquelle un corps correspond avec différentes parties de

l'espace en différens temps; mais ces périphrases ne veulent dire autre chose, sinon que le mouvement est le mouvement. Peut-être un physicien, à qui on demanderoit ce que c'est que le mouvement, seroit obligé, pour l'expliquer, de faire comme ce philosophe à qui on adressa la même question, et qui, pour toute réponse, se mit à marcher.

C'est par le mouvement seul que nous connoissons l'existence des corps, et qu'il y a des relations établies entre eux et nos sens. Rien ne peut se produire ou se détruire sans mouvement; tout ce qui arrive en dépend.

L'espace n'étant qu'un vide absolu et infini, la place d'un corps est la partie qu'il en occupe. Cette place peut être considérée, ou en elle-même, dans ce cas on l'appelle place absolue du corps, ou par rapport à quelque autre, elle est alors la place relative ou apparente du corps. C'est à raison de ces deux circonstances que le mouvement se distingue aussi en deux espèces. Tout mouvement en lui-même est absolu; mais quand les mouvemens des corps sont considérés et comparés entre eux, on les appelle relatifs et apparens : ils sont relatifs, attendu qu'on les compare l'un à l'autre, et ils sont seulement apparens, parce que nous apercevons, non pas les mouvemens vrais et absolus, mais la somme ou la différence

de ces mouvemens. Ainsi, le mouvement absolu et le mouvement relatif des corps peuvent être différens et même contraires.

Si deux vaisseaux font route ensemble, dans la même direction et avec la même vitesse, ils se paroîtront réciproquement en repos. La terre tourne aussi continuellement sur son axe et avance dans son orbite; mais, comme tous les objets à sa surface participent à ce mouvement, on ne s'en aperçoit pas.

Si deux vaisseaux font voile au même moment dans la même direction, que l'un des deux parcoure trois milles à l'heure pendant que l'autre en fait cinq; la différence de leur vitesse, qui est deux milles, pourra être appréciée par un observateur placé dans l'un et regardant l'autre.

Mais, si deux vaisseaux se croisent, l'un paroîtra à l'autre se mouvoir avec la somme des deux vitesses; ainsi, dans ce cas, le mouvement apparent est au-delà de la vérité; comme, dans d'autres circonstances, il est en-deçà. La raison de ces phénomènes de mouvement deviendra évidente, si nous considérons que nous devons être absolument en repos, pour discerner à la fois les mouvemens vrais ou réels des corps vers nous. Mais comme le repos absolu n'existe pas, à cause du mouvement de la terre, nous devons cher-



cher à découvrir les mouvemens réels et absolus des corps en général, par des observations faites sur leurs mouvemens relatifs.

Nous sommes plus familiarisés avec cette espèce de mouvement relatif qui consiste dans le transport d'une place à une autre, de corps entiers, comme la chute d'une pierre ou le jet d'une flèche. Il y a encore une autre espèce de mouvement relatif, qui, quoique moins sensible, n'en est pas moins commun et important ; nous voulons parler du mouvement des particules des corps en eux-mêmes, qui est quelquefois perceptible à nos sens, et qui exige d'autres fois l'aide de la réflexion pour nous convaincre de son existence. C'est par ce mouvement imperceptible que croissent les animaux et les plantes, que se font la plupart des compositions et des décompositions. Pour nous en former une idée, observons le mouvement continuel des particules légères, qui quelquefois flottent sur l'eau quand ce liquide est exposé aux rayons du soleil ; il prouve que les molécules de l'eau sont dans un mouvement continuel. Si nous réfléchissons un peu, nous découvrirons que celles des substances les plus solides sont dans le même état. La chaleur les dilate, le froid les contracte, et comme leur température varie constamment, il faut que leurs molécules soient dans une agitation con-



tinuelle pour se prêter à chaque changement d'état. Voilà une des causes du mouvement perpétuel des particules de la matière ; mais il y en a une foule d'autres qui échappent à notre observation, et que nous sommes peut-être incapables de découvrir. Les changemens graduels qui ont lieu dans tous les corps pendant nombre d'années, prouvent suffisamment qu'ils agissent sans cesse l'un sur l'autre. Nous pouvons donc conclure qu'aucune particule de matière n'est dans un état absolu de repos.

Les diverses circonstances qui influent sur la communication du mouvement d'un corps à un autre, peuvent être classées ainsi qu'il suit :

1°. La force qui imprime le mouvement ;

2°. La quantité de matière du corps mouvant ;

3°. La vitesse et la direction du mouvement ;

4°. L'espace parcouru par le corps en mouvement ;

5°. Le temps employé à parcourir l'espace ;

6°. La force avec laquelle le corps en mouvement en frappe un autre qui lui est opposé.

Dans un sens mécanique, l'inertie d'un corps consiste à résister à tout changement d'état. S'il est en repos, il ne commencera pas à se mouvoir de lui-même ; et, s'il est en mouvement, il continuera à se mouvoir uniformément,

excepté dans le cas où il est arrêté par un agent extérieur; nous l'avons démontré en traitant de l'inertie. Les causes qui communiquent le mouvement sont appelées *puissances motrices*. Celles qu'on emploie ordinairement en mécanique sont : l'action des hommes et des autres animaux, le vent, l'eau, la gravité, la pression de l'atmosphère, l'élasticité des fluides et autres corps.

La vitesse du mouvement s'estime par le temps employé à parcourir un certain espace, ou par l'espace parcouru dans un certain temps. Plus l'espace parcouru dans un temps donné est considérable, plus la vitesse l'est elle-même, et réciproquement; moins l'espace parcouru dans un temps donné est considérable, moins la vitesse est grande. Comme le mouvement ne peut être instantané, chaque corps qui en est animé doit avoir une vitesse déterminée. Pour en reconnoître le degré, on divise l'espace parcouru par le temps. Supposons, par exemple, qu'un corps parcourt mille mètres en 10 minutes, sa vitesse sera 100 mètres par minute, parce que 100 est le quotient de 1000 par 10. Si nous comparons la vitesse de deux corps A et B; que A parcoure 54 mètres en 9 minutes, et B 96 en 6 minutes, la vitesse de A sera à celle de B dans la proportion de 6 à 16, parce que le quotient

de 54 divisé par 9 est 6, et que le quotient de 96 divisé par 6 est 16.

Pour connoître l'espace parcouru, on multiplie la vitesse par le temps, car il est évident que si l'un ou l'autre augmente, l'espace parcouru augmente également. Si la vitesse est doublée, l'espace parcouru dans le même temps sera double, ou si le temps est deux fois aussi grand, l'espace le sera; si la vitesse et le temps sont doublés, l'espace parcouru sera quatre fois plus grand. Ainsi, quand deux corps se meuvent dans des espaces égaux et dans des temps inégaux, les vitesses de l'un et de l'autre sont comme les quotients de l'espace parcouru par les temps. Si deux corps parcourent des espaces inégaux dans le même temps, leurs vitesses sont proportionnelles aux espaces parcourus. Si enfin deux corps se meuvent dans des espaces égaux et des temps inégaux, leur vitesse respective sera en raison inverse du temps employé; ainsi, si A met une minute et B 2 à parcourir 100 mètres, la vitesse de A sera à celle de B comme 2 est à 1.

Un corps en mouvement doit à chaque instant tendre vers quelque point particulier. Il peut, ou toujours tendre au même, et dans ce cas le mouvement est rectiligne, ou en changer continuellement; dans ce cas le mouvement est curviligne.

Quand un corps est poussé par une ou plusieurs forces dans la même direction, il se meut dans celle des forces agissantes, tel est un bateau qu'un homme tire à lui avec une corde; s'il y en a plusieurs qui agissent diversement sur lui en même temps, il n'obéit à aucune, mais il se meut dans une direction composée. Ce sujet sera mieux entendu avec le secours d'une figure. Le corps A, *fig.* 1, *pl. I*, est poussé par une force dans la direction A C; il est soumis à une autre force qui le chasse dans la direction de A B, en même temps que la première force le porte de A à C. Formez le parallélogramme A B C D, et tirez la diagonale A D, cette ligne représentera la direction et la distance du corps qui se mouvra sous l'influence des deux forces; car, supposons un tube égal à A B en longueur, dans lequel une balle A peut se mouvoir librement, et que dans le même temps cette balle se meut uniformément de A en B, que le tube a aussi un mouvement uniforme de A en C, mais de manière à être toujours parallèle à A B, et que ses extrémités décrivent les lignes A C à B D. La balle a marché de A en B dans le tube, dans le même temps que le tube est descendu à C D. C'est pourquoi, lorsque le tube coïncide avec la ligne

CD, la balle est à l'extrémité D de la ligne, où elle arrivera dans le même temps qu'elle auroit mis à décrire ce côté. Il est donc évident que la balle ainsi assujettie à l'impulsion de différentes forces, ne peut décrire d'autres lignes que la diagonale; car, en employant de plus petites forces, et en formant le parallélogramme A*efg*, A*hik*, etc., elle se trouvera à chaque intervalle dans la diagonale du parallélogramme. Les mouvemens le long de AB, AC, peuvent être appelés simples ou composans, et ceux suivant AD, composés. Il résulte de là que, si nous connoissons l'effet de l'action simultanée de deux forces sur un corps, l'intensité et la direction de l'une d'elles, il est aisé de trouver celles de l'autre : supposons que A D soit la direction et la force avec laquelle le corps se meut, et A B l'une des forces sollicitantes, en complétant le parallélogramme, on trouvera l'autre.

La pratique de réduire les forces composées en simples, et celle de réduire deux ou plusieurs forces équivalentes en une, est appelée la composition et la résolution des forces, dont toute la théorie est comprise dans les principes suivans : Deux forces qui agissent en même temps sur un corps, dans des directions obliques l'une à l'autre, ne le feront pas

mouvoir avec cette partie d'elles-mêmes, qui, sous le rapport de l'obliquité, est opposée et contraire, mais avec celle qui restera après que les forces opposées auront été déduites.

Les exemples de mouvemens produits par plusieurs puissances qui agissent en même temps, sont innombrables, et l'application de l'utile principe qui les régit est très-étendue. Tel est le cas d'un vaisseau poussé par le vent et la marée, et celui d'un cerf-volant, sur lequel le vent et sa corde agissent, de la pluie et de la neige qui tombent plus ou moins obliquement suivant l'agitation de l'air, et d'autres qui ne sont pas moins familiers. Un poisson, en frappant l'eau avec sa queue, avance dans une direction moyenne entre les deux impulsions. En sautant d'une voiture en mouvement, on tombe moins loin que le point qu'on vouloit atteindre, parce qu'on ne réfléchit pas que l'impulsion latérale qu'on se donne, doit être proportionnée à la vitesse de la voiture, et, par conséquent, plus grande que si on partoit d'un état de repos.

On dit que le mouvement est *accéléré*, quand sa vitesse augmente continuellement; et il est *accéléré uniformément*, quand sa vitesse augmente également dans des temps égaux.

Le mouvement est *retardé*, si sa vitesse décroît continuellement, et *retardé unifor-*

mément, quand elle décroît également dans des temps égaux.

Si un corps mis en mouvement par une seule impulsion, et se mouvant uniformément, reçoit une nouvelle impulsion dans la même direction, sa vitesse sera augmentée, et avec cette augmentation de vitesse, il aura encore un mouvement uniforme. Mais si, à chaque instant de son mouvement, il reçoit une nouvelle impulsion, sa vitesse sera continuellement augmentée; si cette impulsion est toujours égale et qu'elle agisse dans des temps égaux, sa vitesse sera uniformément accélérée.

Si, au contraire, on donne à un corps une certaine vitesse, et qu'il perde des portions égales de cette vitesse, dans des instans égaux, par de nouvelles impulsions dans une direction opposée à son mouvement, il sera retardé uniformément.

L'effet de la gravitation, pour accélérer uniformément un corps qui tombe et retarder uniformément un corps qu'on lance en l'air, a déjà été indiqué; mais comme il faut se pénétrer de cette vérité, nous allons la montrer aux yeux comme à l'entendement. Considérons la ligne perpendiculaire A B, *fig.* 2, *pl. I*, du triangle rectangle A B C comme exprimant le temps qu'un corps met à tomber par

l'effet de la gravité ou de la force accélératrice, et la ligne BC comme la vitesse acquise à la fin de la chute, le temps exprimé par la ligne AB est divisé en quatre parties égales ou momens A *r*, *r s*, *s t*, *t* B. Les lignes parallèles enfermées dans le triangle A *r k*, répétées à des intervalles égaux, et d'après la nature du triangle, augmentant régulièrement en longueur, à mesure qu'elles s'éloignent du point A, indiquent des accélérations égales de la vitesse, depuis l'instant où le corps commence à tomber. La ligne *r k* représentera donc la vitesse acquise par le corps tombant, dans le premier moment; *s l* celle de la fin du deuxième moment; *t o* celle de la fin du troisième, et B *c* celle de l'expiration du quatrième ou de la fin de la chute.

Le corps, pendant le second moment, s'il conservoit la vitesse *r k*, qu'il a acquise à la fin du premier, décriroit la surface carrée *r k s m;* car cette surface est engendrée par la répétition continuelle de la ligne *rk*, pendant le temps exprimé par *r s;* comme l'aire du triangle *a r k* est décrite avec une vitesse uniformément croissante pendant le temps A *r*. Mais l'aire de ce carré est manifestement double de celle du triangle qui est au-dessus; il résulte de là qu'un corps qui se meut pendant le second moment, avec la vitesse

acquise à la fin du premier, tombera deux fois plus bas dans le second moment que dans le premier; et la règle que l'on peut déduire de cet exemple, sera universellement adoptée, c'est-à-dire que la vitesse acquise à la fin d'un temps donné, portera le corps à une distance double dans le même temps. En poursuivant la démonstration de la figure, cela paroîtra encore plus clair.

Si la vitesse continue d'augmenter uniformément pendant le second moment, l'espace sera exprimé par l'aire *r s l k* et sera égal à trois fois le triangle A *r k*.

La totalité de l'espace parcouru par le corps dans les deux premiers momens, sera comme l'aire A *s l*, qui est quatre fois plus grande que celle A *r k;* ainsi, l'espace parcouru par le corps tombant, est comme le carré du temps pendant lequel il tombe; ici le temps est 2 (parce que A*s* exprime deux momens de la descente), dont le carré est 4.

Dans le troisième moment où le corps tombe avec la vitesse *s l*, pendant le temps *s t*, l'espace décrit sera comme le rectangle du temps et de la vitesse, c'est-à-dire comme l'espace rectangulaire *s l t n*, dans lequel on peut décrire quatre triangles égaux chacun à A*rk;* mais comme la vitesse est encore augmentée uniformément par l'action continue de la

gravité, l'espace parcouru pendant le temps *s t*, ou troisième moment, sera comme l'aire *s t o l*, ou cinq fois aussi grand que A *r k*.

Comme les triangles A *r k*, A *s l*, A *t o*, A B C, sont tous semblables, que A *s* est deux fois aussi grand que A *r*, *s l* sera double de *r k*; et comme A *s* exprime le temps, et *s l* la vitesse, si le temps est double, la vitesse sera double. Cette règle, qui s'applique à toutes les parties de la descente, prouve que la vitesse est comme le temps.

Si on considère séparément les espaces décrits dans chaque moment, l'espace du premier moment étant 1, l'espace du second, comme on le voit dans la figure, est 3, celui du troisième 5, du quatrième 7, la différence étant 2 par chaque temps.

Le mouvement d'un corps montant de B en A, et par conséquent uniformément retardé par l'action de la gravité, peut se démontrer par la même figure, en changeant seulement quelques termes de l'explication ; ainsi, B A exprimera le temps que le corps met à s'élever en A, et la ligne horizontale comparée avec la base, comme *t o*, *s l*, *r k*, montrera la vitesse perdue à la hauteur à laquelle le corps sera arrivé.

Il faut observer que la vitesse que nous venons d'assigner à la chute des corps, est celle

qu'ils acquerroient s'ils passoient à travers un espace qui n'eût pas d'air ; mais dans le fait, la résistance de ce fluide diminue considérablement la vitesse acquise par la chute, même quand le corps, par sa densité, est d'une espèce à être moins affectée par son action. Une balle de plomb mit, suivant le Dr Desagulier, 4 secondes et demie à tomber de 262 pieds ; tandis qu'elle auroit dû, suivant la théorie, parcourir 325 pieds 6 pouces pendant ce temps; c'est une différence d'environ un cinquième, entre l'expérience et la théorie.

Nous avons déjà dit que, si deux forces agissent uniformément sur un corps, elles le font mouvoir en ligne droite ; que si l'une des forces n'est pas uniforme, mais accélérée ou retardée, le mouvement du corps décrit une courbe. Un boulet de canon iroit toujours en ligne droite, s'il n'étoit soumis à d'autres forces qu'à l'impulsion qu'il a reçue de la poudre ; mais aussitôt qu'il sort de la bouche du canon, la gravité agit sur lui et le fait changer de direction. La courbe qu'il décrit alors est une parabole ; mais comme la résistance de l'air contribue aussi à le faire dévier de cette ligne, et que cette résistance diffère avec la vitesse du boulet, il n'est pas facile d'en déterminer la figure.

Dans quelques cas, la résistance est de plus de 20 fois le poids du boulet, et quand il se meut avec une vitesse de 2000 pieds par seconde, elle est de 100 fois son poids. Ainsi, la théorie parabolique des projectiles est inapplicable dans la pratique. Newton avoit déjà démontré que la courbe que décrit un projectile approchoit plus de l'hyperbole que de la parabole, et que la résistance qu'éprouve un corps n'est pas proportionnée à sa vitesse, mais au carré de cette vitesse. Il y a environ 200 ans, les physiciens croyoient que la ligne décrite par un corps projeté horizontalement, comme un boulet de canon, étoit droite, tant que la force de la poudre excédoit beaucoup le poids du boulet, après quoi ils pensoient qu'elle se changeoit en une courbe. Tartaglia fut le premier qui annonça que la trajectoire étoit une courbe dans toute son étendue; mais ce fut Galilée qui fit voir que celle-ci étoit une parabole dans un milieu non résistant.

La force avec laquelle un corps se meut, ou qu'il exerce sur un autre corps qui lui est opposé (force qui est toujours mesurée par ses effets), est égale à la vitesse, multipliée par son poids ou sa quantité de matière. Cette force est ce qu'on appelle le *moment* du corps. Si deux corps égaux se

meuvent avec des vitesses différentes, leurs forces ou momens sont comme leurs vitesses, et s'ils se meuvent avec la même vitesse, leurs momens sont comme leur quantité de matière ; ainsi, dans tous les cas, leurs momens ou leurs forces doivent être comme le produit de leur quantité de matière par leur vitesse. Cette règle est la base de la mécanique.

Lois du mouvement.

La doctrine sommaire du mouvement a été réduite à trois axiomes, qui sont appelés lois du mouvement. Les voici :

1°. Tous les corps sont indifférens au mouvement et au repos; c'est-à-dire que quand ils sont en repos, ils ne peuvent se mouvoir, et que quand ils sont en mouvement, ils ne peuvent s'arrêter sans l'action d'une cause extérieure.

2°. Le changement d'état d'un corps, soit qu'il passe du repos au mouvement, ou d'un degré de mouvement à un autre, est toujours proportionnel à la force qui agit sur lui, et dans la direction de cette force.

3°. La réaction est toujours égale à l'action, ou, en d'autres termes, les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et exercées en sens opposés.

Nous avons donné des preuves des deux

premières lois dans les sections précédentes. La dernière n'y est pas si clairement indiquée, quoiqu'il soit aussi facile de la démontrer. Un corps qui agit sur un autre perd d'autant plus de force qu'il lui en communique davantage ; on rend ces faits sensibles en choquant une balle suspendue par un cordon avec une autre balle qui se trouve en repos; dans ce cas, le corps choquant perdra la moitié de son mouvement qui passe dans le corps choqué. Si on presse avec le doigt sur le plateau d'une balance pour contrebalancer le poids qui agit dans l'autre, le plateau pressé par le doigt agira sur lui avec une force égale à celle avec laquelle l'autre cherche à descendre. Il est facile de multiplier les faits à cet égard. Si un homme placé dans un bateau tire à lui un autre bateau par le moyen d'une corde, ces deux bateaux s'approcheront avec des quantités de mouvement égales : un fardeau tiré par un cheval, réagit contre le mouvement du cheval, et la marche de l'animal est aussi retardée par le fardeau, que le mouvement de ce dernier est animé par les efforts du cheval; si nous supposons que l'animal possède une force égale à 100, que celle qui est nécessaire pour tendre les traits soit de 50, il n'agira réellement qu'avec le reste de force, c'est-à-dire, 50. Quand un canon fait explo-

sion, la poudre raréfiée presse également sur la culasse et sur le boulet, quoique les vitesses soient très-différentes. Si le boulet pèse dix livr., que le canon et l'affût en pèsent 10,000, la vitesse de la balle sera 1000 fois plus grande que celle du canon, mais la quantité de mouvement sera la même. L'eau, par sa réaction, communique aux rames autant de mouvement qu'elle en reçoit; c'est ainsi qu'elle chasse le bateau; les poissons nagent et les oiseaux volent d'après le même principe.

Des forces centrales.

Tous les corps en mouvement tendent à suivre la ligne droite, parce qu'elle est la plus courte et la plus simple. S'ils décrivent une courbe, c'est qu'ils sont sollicités par quelque cause qui les fait dévier; nous pouvous donc être certains qu'ils sont influencés par deux puissances au moins, et que si l'une des deux cesse, le corps s'échappe aussitôt en ligne droite.

La force par laquelle un corps qui décrit une courbe cherche à s'échapper suivant la ligne droite, s'appelle *force centrifuge*, et la force opposée, ou celle par laquelle un corps est constamment retenu, ou tend de tous les points à se rapprocher du centre, est appelée *force centripète*. Si une corde, chargée d'une

balle à son extrémité et à laquelle on imprime un mouvement circulaire, vient à casser, la balle s'échappe par une tangente au cercle qu'elle décrivoit; la corde, dans ce cas, représente la *force centripète*, et le pouvoir qu'elle a acquis de s'échapper, la *force centrifuge*.

Les forces centrifuge et centripète sont désignées sous le nom de *forces centrales*.

Du centre de gravité.

Dans chaque corps, il y a un certain point appelé *centre de gravité*, dont il faut connoître la nature et les propriétés avant de traiter des puissances mécaniques. Le centre de gravité est le point autour duquel toutes les parties se balancent exactement, dans quelque position qu'elles se trouvent.

Si un corps est suspendu ou supporté par son centre de gravité, il reste indifféremment en repos dans toute espèce de positions, et malgré les supports, ce point porte tout le poids du corps, qui, pendant qu'il est ainsi supporté, ne peut tomber. Tout le poids d'un corps peut aussi être considéré comme concentré dans ce point, et les mathématiciens, par *place* d'un corps, entendent souvent le point où est situé le centre de gravité. Un corps suspendu par un autre point ne peut rester que dans deux positions, celles où le centre en question est exactement au-

dessus ou au-dessous du point de suspension.

Tout le monde sait qu'il ne faut que trouver le milieu d'un bâton d'une égale épaisseur, pour le balancer sur un doigt ou sur un autre support étroit ; pour en équilibrer un, qui est plus épais d'un bout que de l'autre on sait encore que le support doit être placé plus près de l'extrémité la plus pesante, et que la différence de longueur de chaque côté du point d'appui, doit être proportionnée à la différence du poids des deux bouts. D'après ce principe, le centre commun de gravité de deux corps égaux est précisément dans leur milieu. Quand ils sont inégaux, la distance est déterminée par le rapport des grandeurs, ou les distances du centre sont en raison inverse du poids des corps. Faisons A, *fig*. 3, plus grand que B ; joignons A B, sur lequel nous prendrons le point C, nous aurons alors C A : C B :: B : A ; c'est-à-dire que si le poids de A est multiplié par la distance A C, que le produit soit le même que celui du poids B multiplié par la distance B C, C est le centre de gravité des deux corps A et B. Si on a besoin du centre de gravité de trois corps, prenons d'abord C centre de gravité de A et B, et supposons qu'un corps placé là soit égal à la somme de A et de B, G se trouvera centre commun de gravité de ce corps et de D ; G sera ainsi le centre commun de gravité des trois corps A, B et D. On peut déterminer d'une

manière semblable le centre de gravité de tel nombre de corps qu'on voudra.

Comme la gravité agit toujours dans une direction perpendiculaire à l'horizon, et comme si le poids total d'un corps étoit réuni au centre de gravité, ce point tend toujours à descendre suivant la verticale avec une force égale au poids du corps ; c'est pour cela que la ligne verticale qui passe à travers le centre de gravité d'un corps, est appelée *ligne de direction*. Tant que la ligne de direction est en dedans de la base sur laquelle un corps repose, le corps ne descend pas; mais si elle est en dehors de cette base, il tombe. Ainsi, le corps incliné A B C D, *fig.* 4, *pl. I*, dont le centre de gravité est E, se tiendra fermement sur sa base C D, parce que la ligne de direction E F tombe en dedans de cette base. Mais si nous essayons de placer un corps plus long G H I K, *fig.* 5, avec la même inclinaison, le centre de gravité L sera plus élevé, et la ligne de direction L M tombant en dehors de cette base, il se renversera dès qu'on l'abandonnera à lui-même. On produira le même effet en plaçant un poids suffisant au sommet du premier corps, *fig.* 4, car chaque addition de poids élèvera le centre de gravité; c'est pourquoi le poids sera suffisant pour faire tomber le corps, dès qu'il sera assez haut pour

porter laligne de direction en dehors de la base, comme on le voit *fig.* 5.

Ces observations nous mettent à même de sentir combien il est absurde et dangereux de se lever lorsqu'on est dans un bateau ou une voiture près d'être renversé, car on hausse par ce moyen le centre de gravité; la secousse qu'on imprime jette la ligne de direction hors de la base, et rend inévitable l'accident, qui peut-être n'auroit pas eu lieu. Si, au lieu de se lever, on se plaçoit le plus bas possible, le bateau reprendroit son équilibre et se trouveroit sauvé.

Plus la base d'un corps est large, plus la ligne de direction est près du centre, et plus il est stable; au contraire, si elle est étroite, et que la ligne de direction donne sur le côté, il sera facilement renversé, parce que le moindre changement de position peut la chasser hors de cette base. C'est par cette raison qu'on fait rouler si facilement une sphère sur un plan horizontal, et qu'il est si difficile de faire tenir un corps debout, en équilibre sur un point.

On a mis à profit ce principe, que le centre de gravité doit toujours être le plus bas possible, pour suspendre les baromètres de marine, les boussoles, etc.; on fait dans les cours de physique une expérience propre à le rendre

sensible. On prend un double cône, qui paroît remonter sur deux plans inclinés, en formant un angle avec l'un et l'autre et restant dans le même plan. Dans ce cas, le double cône s'enfonce à mesure qu'il avance, et par ce moyen le centre de gravité descend continuellement. Il est nécessaire, pour cet effet, que la hauteur du plan soit moindre que le rayon de la base du cône. Si elle lui est égale, il reste en repos dans toutes les parties du plan, et, si elle est plus grande, il descend. Les deux règles AB, CD, *fig.* 6, *pl. I*, sont unies par une penture CA; les côtés inférieurs sont droits, les supérieurs ont un bout plus large que l'autre, de manière que quand ils s'ouvrent, ils forment deux plans inclinés. Si on place le double cône EF près de la penture, il roule vers la partie supérieure des plans et paroît monter, mais en réalité il descend, parce que, comme les règles s'élargissent, le cône les touche par les parties les plus en plus près de son sommet sur chaque côté.

Quand la ligne de direction d'un corps sur un plan incliné tombe en dedans de sa base, il glisse au bas de ce plan; mais il roule en bas, si le frottement des surfaces est suffisant, quand cette ligne tombe en dehors. Ainsi, le corps C, *fig.* 7, glissera sur le plan incliné AB, mais le corps D roulera sur la même surface.

Une sphère descendroit sans rouler, s'il n'y avoit pas de frottement qui causât sa rotation.

Quand un homme est debout, la ligne de direction passe entre ses pieds; quand il marche, il cherche à la conserver dans la même position. Les différentes postures que nous prenons instinctivement pour conserver la direction de cette ligne et assurer notre stabilité, donnent lieu à des réflexions curieuses. Nous courbons notre corps en avant lorsque nous nous levons d'une chaise ou que nous montons un escalier, et, en poussant un fardeau, nous nous appuyons sur lui. Un homme se courbe en avant quand il porte sur son dos, en arrière quand c'est sur sa poitrine, et à droite ou à gauche, selon la position de la charge. Il exécute tous ces changemens pour maintenir la ligne de direction entre ses pieds.

Si un corps est suspendu librement par différens centres, son centre de gravité sera dans l'intersection formée par les lignes tirées de ces centres perpendiculairement à l'horizon. Il résulte de là qu'il est facile de trouver le centre de gravité d'une figure plane irrégulière. On la suspend par un point au plan perpendiculaire à l'horizon; de ce point de suspension, tendez le fil à plomb, et tirez une ligne le long du fil; faites la même chose sur un autre point

de suspension, le centre de gravité sera au point d'intersection des deux lignes. Supposons, par exemple, que AB, *fig.* 8, *pl. I*, soit le corps dont on veut trouver le centre de gravité; suspendons-le d'abord par un point, comme D, de manière qu'il puisse se mouvoir librement; tendons le fil à plomb du point de suspension, et traçons exactement cette ligne sur le corps; suspendons-le par une autre partie F, faisant usage du fil comme plus haut, le point d'intersection des lignes en C, sera le centre de gravité.

Des puissances mécaniques.

Les machines simples, dont deux ou plusieurs constituent, en se combinant, toutes les machines complexes, sont appelées *puissances mécaniques*. Il y en a six : le *levier*, la *poulie*, le *treuil*, le *plan incliné*, le *coin* et la *vis*. Quelques auteurs pensent qu'on ne doit reconnoître que deux machines simples, le levier et le plan incliné, puisque la poulie, le treuil, peuvent être considérés comme des leviers composés, et que le coin et la vis ne sont que des modifications du plan incliné; mais comme cette classification n'est pas générale, et qu'elle peut jeter de la confusion au lieu de simplifier le sujet, nous ne l'adopterons pas.

Si les facultés de l'homme étoient limitées par l'étendue de ses forces naturelles, il n'auroit qu'une foible idée des œuvres de la nature, et seroit privé d'une partie des avantages de la civilisation. Il y a peu de productions des arts qui n'aient été obtenues à l'aide de quelques inventions mécaniques; nous devons conclure de là que la construction des machines a dû précéder la connoissance de la théorie sur laquelle elles sont fondées. Les restes de l'architecture égyptienne nous fournissent les preuves les plus étonnantes du génie mécanique; chacune des pierres qui forment le haut des Pyramides égale en volume une petite maison. L'élévation de ces masses immenses a dû exiger une accumulation de forces mécaniques que l'architecture moderne ne peut envisager sans étonnement.

Pour établir la théorie de la science mécanique, on admet comme exactes quelques données qui ne le sont pas rigoureusement; elles sont ordinairement au nombre de quatre:

1°. Une petite portion de la surface de la terre, quoique réellement convexe, peut être considérée comme plane.

2°. Deux corps, en tombant, décrivent des lignes parallèles entre elles; car, quoique tous tendent vers le centre de la terre, la distance qu'ils parcourent est si foible, en comparai-

son de celle où ils sont du centre de la terre, que leur inclinaison est inappréciable.

3°. L'effort d'une puissance ou d'un poids donné, est le même dans tous les points de sa direction; ou, si un corps agit sur un autre avec une force donnée, l'action est la même, en quelque point de sa direction qu'on l'applique.

4°. Quoique toutes les surfaces soient plus ou moins raboteuses et toutes les machines imparfaites, nous supposerons les plans unis; nous admettrons que toutes les surfaces sont lisses et douces; tous les leviers droits, inflexibles, sans épaisseur et sans poids; les cordes parfaitement flexibles, et toutes les machines sans frottement et sans inertie.

Il y a trois choses à considérer en traitant des machines : le poids à élever, la force qui l'élève, et l'instrument ou machine à l'aide de laquelle la force agit sur le poids.

L'art, dans toutes les inventions mécaniques, consiste à distribuer le poids sur un tel nombre d'agens, que la partie soutenue par la puissance soit très-petite comparativement au tout.

En calculant la puissance d'une machine, on considère ordinairement celle-ci à l'état d'équilibre; c'est-à-dire dans cet état où la force qui a vaincu la résistance la balance

parfaitement. Après avoir découvert combien il faut de puissance pour produire cet effet, il est nécessaire d'en prendre un excès pour vaincre les frottemens, le poids de la machine elle-même, et donner à celle-ci la vitesse nécessaire.

Du levier.

Le levier est la plus simple de toutes les machines; c'est ordinairement une barre de fer, de bois ou d'une matière solide, par le moyen de laquelle on parvient, avec une certaine force et en la plaçant sur un point d'appui, à vaincre une plus grande force ou à lui résister.

Il y a trois choses à remarquer dans le levier : le point d'appui qui le supporte, ou sur lequel il tourne comme sur un axe ou centre de mouvement; la puissance, qui élève ou supporte le poids; la résistance, ou le poids à élever ou soutenir.

Les points de suspension sont ceux où les poids pèsent réellement, ou desquels ils pendent librement.

La puissance et le poids sont toujours supposés agir à angles droits sur le levier, à moins que cela ne soit autrement exprimé.

On distingue trois sortes de leviers, selon les différentes situations du point d'appui et de la puissance l'un à l'égard de l'autre.

Le levier est du *premier* ordre, quand le point d'appui est entre la puissance et le poids;

Il est du *deuxième* ordre, quand le point d'appui est à un bout, la puissance à l'autre, et le poids entre deux;

Il est du *troisième* ordre, si la puissance est appliquée entre le poids ou la résistance et le point d'appui.

La plupart des instrumens dont on fait usage sont des leviers de l'une ou l'autre espèce. Un tisonnier, pour attiser le feu, est un levier de la première espèce; la barre de la grille sur laquelle on le pose est le point d'appui, le feu est le poids ou la résistance à vaincre, et la main la puissance. La balance, la romaine, les ciseaux, les pinces, les mouchettes, sont construits avec des leviers de cette espèce. L'instrument appelé *pince* avec lequel on soulève de fortes pierres et de grands poids à une petite hauteur, est aussi un levier de la première espèce. AB, *fig.* 9, *pl. I*, représente ce levier, dans lequel C est le point d'appui, A le bout auquel la puissance est appliquée, et B celui où agit le poids. Les parties AC et CB, à droite et à gauche du point d'appui, sont appelées les bras du levier. Pour trouver quand l'équilibre aura lieu entre la puissance et le poids, nous devons recourir à ce que nous avons déjà dit concernant les momens

des corps, c'est-à-dire que leurs momens sont toujours comme les produits de leur quantité de matière multipliée par leur vitesse, et que le moment d'un petit corps est égal à celui d'un grand, si sa vitesse ou l'espace qu'il parcourt est suffisant pour rendre leurs produits égaux. Maintenant considérons quand l'équilibre aura lieu dans le levier. Supposons que le levier AB, *fig.* 10, tourne sur son axe ou point d'appui, de manière à arriver à la position DC; comme le bout D est à la plus grande distance du centre de mouvement, et qu'il a parcouru l'arc AD pendant le même temps que le bout B a mis à décrire BC, il est évident que la vitesse du bout A doit avoir été plus grande que celle de B, et que, par cette raison, il exige moins de poids ou de quantité de matière pour produire l'équilibre que B.

Cherchons maintenant combien il faudra ajouter de poids à B pour balancer A. Les rayons (1) des cercles sont comme les circonférences, et par conséquent comme des parties semblables de ces circonférences; ainsi, comme les arcs AD, CB, sont semblables, c'est-à-dire qu'ils sont des portions égales des cercles auxquels ils appartiennent, le rayon ou bras DE est à EC, comme l'arc AD est à CB. Mais les

(1) Le rayon d'un cercle est la ligne qui va directement du centre à la circonférence.



arcs AD et CB représentent les vitesses des bouts des leviers, puisque ce sont les espaces qu'ils parcourent dans le même temps; ainsi les bras DE et EC peuvent aussi représenter ces vitesses.

Il est évident que l'équilibre aura lieu quand la longueur du bras AE multipliée par la puissance A, sera égale à EB multiplié par le poids B, et conséquemment que, plus EB est court, plus le poids B doit être grand pour faire équilibre; c'est-à-dire que la puissance et le poids doivent être l'une à l'autre en raison inverse de leur distance du point d'appui. Supposons que AE, distance du point d'appui à la force, est 20 pouces, que EB, distance du poids au point d'appui, est 8, que le poids à élever en B est de 5 livres; la puissance à appliquer en A doit être de 2 livres, parce que la distance du poids au point d'appui, savoir 8, multipliée par le poids 5, fait 40; d'un autre côté, la distance de la puissance au point d'appui étant 20, multipliée par 2, donne un produit égal; donc il y aura équilibre.

Lorsque la distance de la puissance au point d'appui excède celle du poids au même point, une force moindre que le poids suffit pour élever celui-ci; aussi ce levier offre-t-il un avantage mécanique. Mais quand la dis-

tance de la force est moindre que celle du poids au point d'appui, cette puissance doit être plus grande que le poids, ou elle ne l'élèvera pas; quand les deux bras sont égaux, il faut que la puissance et le poids soient égaux pour qu'il y ait équilibre.

Lorsque le marteau est employé pour arracher des clous, il agit comme un levier de la première espèce. Supposez que le manche du marteau a dix fois la longueur de la partie du fer qui tire le clou, tandis que la tête, en pressant sur le manche, appuie sur la planche comme sur un point d'appui, le clou peut être tiré avec la dixième partie de la force qu'il auroit fallu pour l'arracher avec des pinces; parce que, en employant celles-ci, le clou marche aussi vite que la main, au lieu qu'avec le marteau la main fait dix fois plus de chemin que le clou. Une paire de ciseaux est composée de deux leviers de la première espèce, le centre du mouvement étant le rivet. Si, quand on coupe, la main ou la puissance est appliquée trois fois aussi loin du rivet que la matière sur laquelle on opère, chaque levier agissant avec la force de trois, les ciseaux agiront sur la matière six fois plus fort que si la même force y étoit appliquée directement.

Le levier de la seconde espèce, c'est-à-dire celui où le poids est entre le point d'appui et

la puissance, est représenté par la *fig.* 11, *pl. I.* A est le point d'appui, B le poids, et C la puissance. L'avantage de ce levier, ainsi que de l'autre, est d'autant plus grand, que la distance de la force au point d'appui est plus grande que celle du poids au même point. Ainsi, si le point *a*, sur lequel la puissance agit, est 7 fois aussi loin de A que le point *b*, sur lequel agit le poids, une livre appliquée en C élèvera 7 livres en B.

D'après cela, il est évident que si deux hommes portent entre eux un fardeau suspendu sur un bâton, la charge du poids qu'ils soutiennent sera pour l'un et l'autre en raison inverse de leur distance à ce poids. C'est un fait bien connu, que, plus la charge est près de l'un, plus il porte; il pourroit même la porter entièrement si elle étoit placée à l'extrémité de son côté. Si un homme placé en A et un autre en *a* portent avec un bâton sur leurs épaules le poids B placé 5 fois plus près de A que de *a*, le premier portera 5 fois autant que le second. D'après ce principe, deux chevaux d'inégales forces peuvent être attelés ensemble et tirer proportionnellement à leur force, car le palonnier auquel ils sont attachés peut être divisé de telle manière, que le point de traction soit assez proche du che-

val le plus fort, pour balancer la différence des forces.

Les rames et le gouvernail des bateaux sont des leviers de la seconde espèce ; le bateau est le poids ou la résistance ; l'eau, le point d'appui, et l'homme qui dirige leur mouvement, la puissance ; une porte est un levier de la seconde espèce, les gonds sont le centre de mouvement, le corps de la porte est le poids, et la main par laquelle elle est ouverte, la puissance.

Dans la troisième espèce de levier, c'est-à-dire dans celui où la force s'applique entre le poids et le point d'appui, la puissance et le poids sont en équilibre, quand l'intensité de la force excède celle du poids, précisément comme la distance du poids au point d'appui excède la distance de la force. Soit E, *fig.* 12, le point d'appui du levier E F et W un poids d'une livre placé cinq fois aussi loin du point d'appui que le point auquel la puissance P agit, par la corde passant sur la poulie fixe D. Dans ce cas, la puissance doit être égale à 5 livres pour supporter le poids d'une livre.

Cette troisième espèce de levier est employée aussi rarement que possible, à cause du désavantage qu'il donne à la puissance; mais elle ne peut pas toujours être évitée. On en

a un exemple en élevant une échelle contre une muraille : un homme, si sa puissance ou sa force s'exerce à une courte distance du pied de l'échelle, ne peut parvenir à l'élever, à moins qu'il fasse un effort plus grand que celui nécessaire pour la porter.

Les os du bras de l'homme et les membres des animaux sont des leviers du troisième ordre. Quand nous soulevons un poids avec la main, le muscle qui exerce sa force est fixé à l'os, environ dix fois plus près du coude que n'est la main; le coude étant le centre autour duquel la partie inférieure du bras tourne, le muscle doit exercer une force 10 fois plus grande que le poids qui est élevé. Le principe de vitalité a sur la force des muscles avec lesquels nous exécutons ces mouvemens une influence dont nous ne pouvons rendre compte, car un poids qui casseroit un muscle dès le moment qu'il est mort, peut être élevé, lorsque ce muscle vit, sans la plus petite peine. La vitalité étant chargée de communiquer une si grande énergie à des matériaux aussi flexibles que la chair et le sang, le levier de la troisième espèce devient admirablement adapté à la structure animale, parce que si sa force suffit, ses opérations sont promptes et exercées dans un petit espace.

Dans chaque espèce de levier il y a équi-

libre quand la puissance est au poids, comme la distance du poids au point d'appui est à la distance de la puissance à ce même point.

En faisant des expériences pour prouver la théorie des puissances mécaniques, comme il est impossible d'avoir des matériaux dépourvus de poids, on doit avoir soin d'équilibrer parfaitement tous les leviers, avant d'appliquer les poids et les puissances. Un levier, destiné à expliquer cette théorie, est tracé *fig.* 9, *pl. I.* Il doit être de B à C beaucoup plus épais que de C à A, pour que BC balance CA quand le point d'appui est en C. Il en est de même pour toutes les positions du point d'appui; le bras du levier le plus court doit avoir le même poids que le plus long.

Si le poids à élever est d'un volume considérable, et s'il est fixé au-dessus ou au-dessous du bout du levier, il variera dans son intensité suivant la position du levier. AB, *fig.* 13, représente un levier ayant un poids fixé au-dessus, comme A, dont le centre de gravité est *a* et la ligne de direction *a b*; alors *a b* est le point du levier sur lequel le poids agit; mais si le levier est mis dans la position CD, la ligne de direction du poids tombera plus près du point d'appui du levier, et, par conséquent, ce poids agira avec moins

de force sur lui; mais si le levier est placé dans la direction EF, la ligne de direction tombera plus loin du point d'appui, et ainsi son action sur le levier augmentera. Au contraire, des effets opposés auront lieu, quand le poids sera placé sous le levier, comme il est indiqué par la fig. 14.

Quand le poids est suspendu au levier par une corde, ou autre matière flexible, aucune altération n'a lieu, parce que le point de suspension n'est pas changé. C'est pourquoi, quand deux brasseurs portent un baril suspendu à un bâton, par une chaîne, le point sur lequel agit le poids n'étant pas déplacé par l'inclinaison du bâton en montant ou descendant, chacun d'eux soutient le même poids que s'il marchoit sur un terrain de niveau; mais s'ils portent le baril à l'aide de brancards, le poids n'éprouvant point de balancement, le contraire a lieu; et le centre de gravité, étant placé au-dessous du levier, se rapprochera de l'extrémité la plus élevée, ce qui allégera la charge de l'homme placé à l'autre extrémité.

Si plusieurs leviers sont combinés ensemble, de manière qu'un poids, suspendu au premier, soit soutenu par une puissance appliquée au dernier, comme dans la *fig.* 15, *pl. I*, où trois leviers de la première espèce sont disposés de sorte qu'une force appliquée au point L du levier C, puisse soutenir un poids au

point S du levier A, la puissance doit être au poids en raison composée des divers rapports que ces puissances qui soutiennent le poids par le secours de chaque levier, quand on les emploie seules et à part du reste, ont avec le poids. Par exemple, si la force qui peut soutenir le poids W par le secours du levier A est au poids comme 1 à 5, et si la puissance qui peut soutenir le même poids par le levier B seul, est au poids comme 1 à 4, et que la force qui soutiendra le même poids par le levier C soit au poids comme 1 à 5, alors la puissance qui le soutiendra par le secours des trois leviers joints ensemble, sera avec ce poids en raison composée des divers rapports, multipliés ensemble 1 à 5, 1 à 4 et 1 à 5, c'est-à-dire $5 \times 4 \times 5$, ou comme 1 à 100. Car, puisque dans le levier A une puissance égale à $\frac{1}{5}$ du poids W, pressant sur le levier en L, est suffisante pour balancer ce poids; et puisque c'est la même chose que cette puissance soit appliquée au levier A en L, ou au levier B en S, le point S portant sur le point L, une puissance égale à $\frac{1}{5}$ du poids W étant appliquée au point S du levier B supportera le poids, mais $\frac{1}{4}$ de la même puissance étant appliquée au point L du levier B et agissant de même au-dessus, déprimera le point S du même levier comme si toute la puissance étoit appliquée en S. Conséquemment, une puis-

sance égale au quart du cinquième, c'est-à-dire au 20e du poids W, étant appliquée au point L du levier B et poussant de même, supportera le poids. Il en est de même, que la force soit appliquée au point L du levier B, ou au point S du levier C, puisque si S est élevé, L qui reste dessus s'élèvera aussi ; mais ⅕ de la puissance appliquée au point L du levier C et pressant dessus de haut en bas, élèvera le point S du même levier, comme si toute la puissance étoit appliquée en S, et déployée pour l'élever ; conséquemment, une puissance égale au ⅕ du 20e ou à la centième partie du poids W, étant appliquée au point L du levier C, balancera le poids au point S du levier A. Cette méthode de combiner les leviers est fréquemment employée dans les machines; elle est d'un grand service, soit pour obtenir une puissance plus considérable, soit pour l'appliquer plus commodément.

De la balance.

La balance commune, dont l'utilité pour comparer le poids des corps est si bien connue, consiste en un levier de la première espèce dont les bras sont d'égale longueur. Les points auxquels les poids sont suspendus étant également distans du centre de mouve-

ment, se meuvent avec une vitesse égale; conséquemment si des poids égaux y sont placés, leurs momens seront égaux, et la balance restera en équilibre.

Pour qu'une balance soit aussi bonne que possible, il est nécessaire qu'elle réunisse les conditions suivantes.

1°. Les bras du fléau doivent être exactement de même longueur, de même poids et aussi longs qu'il est possible, relativement à leur épaisseur et aux fardeaux qu'ils doivent supporter, parce que, plus le point de suspension est loin du centre de mouvement, plus le moment des poids est considérable et l'instrument sensible.

2°. Les points auxquels les plateaux sont suspendus, doivent être en ligne droite avec le centre de gravité du fléau; par ce moyen les poids agissent directement l'un contre l'autre, et il n'y en a aucune portion de perdue à raison de l'obliquité.

3°. Si le point d'appui ou l'axe de mouvement passe par le centre de gravité du fléau, et que le point d'appui et ceux de suspension soient dans la même ligne droite, la balance n'aura pas plus de tendance à une position qu'à une autre, et restera dans celle où elle est placée, que les plateaux soient chargés ou non, pourvu que les poids soient les mêmes. L'é-

galité de deux poids suspendus à un fléau dont les centres de gravité et de mouvement coïncident, se prouve par leur repos dans toutes les positions; mais un pareil fléau n'est pas applicable aux usages ordinaires pour lesquels une position doit indiquer l'égalité de poids. C'est l'horizontale qui est la plus convenable pour cet objet.

Si le centre de gravité du fléau, quand celui-ci est de niveau, est immédiatement *au-dessus* du point d'appui, il trébuchera par la moindre action, c'est-à-dire que le bout qui aura penché ne se relèvera plus, et descendra d'autant plus vite que le centre de gravité sera plus haut, et que les points de suspension seront moins chargés; ainsi, un tel fléau fera paroître inégaux des poids égaux. Si le centre de gravité du fléau est *au-dessous*, celui-ci ne restera en repos dans aucune position que celle du niveau; dérangé de cette position et abandonné à lui-même, il oscillera et reviendra au repos dans une position horizontale. Dans une balance, le point d'appui doit par conséquent toujours être placé un peu au-dessus du centre de gravité. Ses oscillations sont d'autant plus vives, et sa tendance horizontale d'autant plus forte, que le centre de gravité sera bas, et les plateaux moins chargés.

4°. Le frottement du fléau sur son axe doit

être aussi foible que possible, parce que s'il est considérable, la force nécessaire pour le vaincre nuit à la sensibilité de l'instrument, de manière que si un poids est un peu supérieur à l'autre, il ne l'emportera qu'autant que l'excès sera suffisant pour vaincre le frottement et faire pencher le fléau. L'axe de mouvement doit être à tranchant comme une lame de couteau, et bien trempé. Ces tranchans, dans les petites balances, sont faits d'abord aigus, et passés ensuite sur une pierre à l'huile; cette opération les émousse suffisamment. La bonté de l'instrument dépend en grande partie du soin qu'on a apporté à faire cette pièce. Les plateaux doivent être suspendus au fleau de la même manière.

5°. Les pivots qui forment l'axe de mouvement doivent être en ligne droite et à angle droit avec le fléau.

6°. Les pièces sur lesquelles les axes portent seront en acier trempé et bien polies, parallèles l'une à l'autre, d'une figure ovale, afin que les axes puissent conserver leur place, ou rester au point le plus bas.

7°. Le fléau doit être assez fort pour être inflexible sous le plus grand poids qu'il est destiné à porter; s'il se courboit, il deviendroit moins sensible, et comme les bras fléchiroient

inégalement, la balance cesseroit d'être exacte. Ce fléau ne doit cependant pas être d'une épaisseur outrée ; sa plus grande force doit être au milieu et diminuer ensuite vers les bouts. Dans les petites balances, les bras sont souvent ronds ; mais dans les grandes, ils sont généralement rectangulaires, leur section transversale étant alors un parallélogramme dont les longs côtés sont verticaux ; s'ils étoient carrés, ronds ou d'une autre forme, ils exigeroient une plus grande quantité de métal pour posséder la même force.

8°. Les balances très-délicates sont non seulement utiles dans les expériences de recherches, mais elles sont plus expéditives que les autres dans les pesées ordinaires. Si une paire de plateaux, avec une certaine charge, est sensible à 1 dixième de grain, il faudra un temps considérable pour reconnoître un poids avec cette exactitude, parce que l'oscillation, étant très-petite, doit être observée plusieurs fois. Mais si on n'a pas besoin de cette extrême exactitude, on peut employer une balance qui trébuche à un centième de grain ; un dixième de grain, plus ou moins, fera alors une si grande différence dans l'oscillation, qu'on l'apercevra de suite.

9°. Un effet curieux, causé par un mouvement de vibration qu'on excite sur le fléau,

mérite d'être remarqué. Si une balance, qui trébuche par l'addition d'un certain poids, n'est pas affectée par un poids plus petit, on peut lui donner une plus grande sensibilité, en passant une lime, une scie, ou autre instrument semblable, le long du fléau ou de ses supports; la vibration produite diminue tellement le frottement des axes, que la balance trébuchera avec un tiers ou un quart du poids qu'elle exigeoit sans cela.

10°. Quand les bras d'une balance sont inégaux, la balance est *fausse*, parce qu'elle ne donne pas le vrai poids des corps, qu'on les suspende au plus long ou au plus court des bras. Elle a cependant plusieurs propriétés qui sont très-utiles dans l'estimation des poids, et pour corriger des erreurs qui peuvent se commettre dans l'ajustement d'une balance exacte.

Une balance avec des bras inégaux pèsera aussi exactement qu'une autre, pourvu que les poids étalons soient d'abord contre-pesés, et mis en équilibre avec la chose qu'on veut peser. Si on ne veut que des quantités proportionnelles, comme dans les expériences de chimie ou de physique, les corps peuvent être pesés contre des poids, en prenant soin que ceux-ci soient toujours mis dans le même plateau; car alors, quoique les corps ne

soient pas égaux aux poids, leur rapport, les uns à l'égard des autres, est le même que s'ils avoient été exactement pesés.

Un poids qui contre-pèse une once, quand il est suspendu au plus long bras d'une fausse balance, étant ajouté au poids qui contre-pèse une once au bras le plus court, sera toujours plus grand que deux onces. L'excès est cette partie d'une once, qui est exprimée par une fraction, dont le numérateur est le carré de la différence, et le dénominateur le produit des bras. Si une substance est successivement pesée au bras le plus long et au bras le plus court d'une fausse balance, le vrai poids sera une moyenne géométrique entre les faux poids.

11°. Mais, quoique des bras égaux ne soient pas d'une absolue nécessité, il est cependant indispensable que leur longueur relative, quelle qu'elle puisse être, soit invariable. Pour cela, il faut, ou que les trois tranchans soient vraiment parallèles, ou que les points de suspension et les supports soient toujours à la même place : cette dernière condition est celle qu'on obtient le plus aisément.

L'index d'une balance est cette tige qui s'élève perpendiculairement dans le milieu du fléau, dont elle montre l'inclinaison sur la position horizontale. Quelquefois on met sur

cet index un poids mobile, pour élever ou abaisser le centre de gravité de la balance. Cette invention est utile pour ajuster la distance la plus convenable entre le centre de gravité et le point d'appui.

Nous avons observé que le levier étoit de toutes les machines, la plus simple. La balance est un véritable levier; mais, dans la pratique, nous avons vu qu'il y avoit des difficultés pour l'obtenir exacte. Il est fort difficile de faire les deux bras d'une balance égaux; cependant c'est une des parties de cet instrument qui exige le plus d'exactitude. Si l'ajustement d'un simple levier est si difficile, que d'imperfections ne doit-on pas supposer dans les machines complexes un peu considérables? C'est ici le lieu de parler des perfectionnemens qu'on a faits dans la balance.

Muschenbroeck dit qu'il possédoit une balance qui trébuchoit avec un 40e de grain; les substances qu'il pesoit s'élevoient de 2 à 300 grains; ainsi, la balance pesoit $1/12000$ du tout.

Il est fait mention de deux balances exactes de Bolton dans le volume LXVI des Transactions philosophiques : l'une portoit une livre et penchoit avec $1/10$ de grain; c'est $1/70000$ du poids. L'autre pesoit une demi-once et trébuchoit avec $1/200$ de grain; c'est environ $1/22000$ du poids.

Dans le même volume, on parle de deux autres balances, dont l'une, faite par Read, chargée de 55 livres, trébuchoit avec 4 grains, environ 1/96000; l'autre, due à Whitehurst, portoit environ 4 onces et étoit sensible à 1/1000 de grain, c'est-à-dire à 1/48000 du poids.

Nicholson parle d'une balance qu'il possède, et qui, avec 1200 grains dans chaque plateau, trébuche avec 1/70 de grain; c'est-à-dire 1/84000 du tout. Une autre balance, faite par Ramsden, tourne sur des pivots au lieu de biseaux; chargée de 4 à 5 onces, l'index parcourt une division par 1/1600 de grain; c'est 1/384000 du poids.

La balance de la Société royale, qui a été aussi faite par Ramsden, tourne sur des biseaux d'acier, placés sur des plans de cristal polis. Nicholson, qui en parle dans son Dictionnaire de Chimie, pense qu'elle est sensible à la 7 millionième partie du poids; il n'étoit pas présent à cette expérience qui demandoit beaucoup de soins et de patience, puisque les points de suspension ne pouvoient pas avoir bougé de plus de 1 cinquantième de pouce dans la première demi-minute. Mais il observe qu'on peut, en pratique générale, déterminer avec cet instrument des poids à 5 décimales, et plus.

Les tables des pesanteurs spécifiques sont

quelquefois calculées à 5, 6, et même 7 décimales. D'après ce que nous venons de rapporter au sujet de ces balances, l'expérience n'en autorise pas l'usage. La conséquence qu'on tireroit de l'exactitude qu'on suppose présider à la détermination des poids seroit contestée alors à juste titre, quand ils sont pris à 5 décimales, la dernière est hypothétique, et si la fraction est portée plus loin, on peut douter avec raison de la véracité de celui qui les détermine.

De la romaine.

La romaine est un levier de la première espèce ; elle sert à trouver le poids des différens corps, avec un seul poids qu'on place à diverses distances du point d'appui ou centre de mouvement U, *fig.* 16, *pl. I.* Le bras le plus court UM est d'un poids tel qu'il fait équilibre au long bras UN. Si ce dernier est divisé en autant de parties égales qu'il en contient, chacune d'elles étant égale à UO, le seul poids Q (que nous supposons être d'une livre) servira pour une chose aussi pesante que lui, ou autant de fois plus pesante qu'il y a de divisions dans le bras UN, égales à la distance UO, ou une quantité donnée entre son poids et cette quantité. Par exemple, si Q est une livre placée à la première division I, dans le bras UN, elle ba-

lancera une livre dans le plateau ou sur un cran en P; si on la porte à la deuxième division en 2, elle balancera 2 livres en P; si on la porte à la troisième, trois livres; et ainsi de suite jusqu'au bout du bras UN. Si ces divisions sont subdivisées en autant de parties égales qu'il y a d'onces dans la livre, et que le poids Q soit placé sur une de ces subdivisions de manière à faire contre-poids à la charge qui se trouve dans le plateau, les livres et les onces se trouveront indiquées.

Dans les romaines danoise et suédoise, le corps à peser et le poids constant, sont fixés aux extrémités, mais le point de suspension ou centre de mouvement, se meut le long du levier, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre. Le centre de mouvement indique par conséquent le poids des corps.

De la poulie.

La poulie est une petite roue tournant sur un axe au moyen d'une corde qui passe dans une rainure creusée sur sa circonférence. La corde est attachée d'un côté à la main ou puissance, et de l'autre à la résistance.

La poulie est ordinairement entourée d'une chape ou d'un cadre, auquel son axe est lié. Quand elle est en bois, elle porte dans son

milieu une douille de fer ou de cuivre, qui roule sur l'axe, le fait porter également, et diminue le frottement.

La poulie *fixe* est celle qui n'a de mouvement que sur son axe; la poulie *mobile* s'élève et s'abaisse avec la charge. L'expression de « poulie mobile » est assez claire, mais celle de *fixe* pouvant exclure l'idée d'un mouvement, demande quelques détails en faveur de ceux pour qui ce sujet est nouveau.

La *gorge* d'une poulie est la partie creuse de sa circonférence qui reçoit la corde; elle est fréquemment angulaire, afin que la corde qui l'enveloppe se presse dans l'angle et ne glisse pas dans son mouvement.

Une paire de poulies avec la corde qui les enveloppe prend le nom de *palan* ou de *moufle*.

Deux poids égaux attachés aux bouts d'une corde qui passe sur une poulie fixe, voy. *fig.* 1, *pl. II*, se balancent l'un l'autre, parce qu'ils tirent également la corde, si l'un descend d'une quantité donnée, l'autre s'élèvera de la même quantité dans le même temps, et comme leurs vitesses sont égales, ils se balanceront. Cette espèce de poulie ne donne aucun avantage mécanique, mais elle est commode. Elle sert à changer la direction du mouvement, et elle donne à un homme le moyen d'employer son poids

au lieu de sa force musculaire, sans cependant lui permettre d'élever plus que son poids ; elle lui permet aussi de déplacer un fardeau sans changer de place, et de concentrer au moyen de cordes les forces de plusieurs sur le même poids.

En traitant du levier on a observé que le point d'appui peut être regardé comme une troisième puissance qui tient en équilibre la force et la résistance, ou qui concourt avec l'une à soutenir l'effort de l'autre. Si le levier du second ordre AB, *fig.* 2, a son point d'appui en B, la charge dans le milieu en C et la puissance en A, la moitié du poids étant supportée par le point d'appui, une force égale à l'autre moitié le tient en équilibre. Ceci s'applique à l'action des poulies qui peuvent, quand les poids sont suspendus à leur circonférence, être considérés comme des leviers de la première espèce, et de la deuxième si la charge est suspendue au centre. Ainsi, des poids égaux attachés à des cordes *a*, *b*, *fig.* 1, placées à égale distance du centre *c* (qui peut être regardé comme le point d'appui), seront en équilibre, comme s'ils étoient sur les plateaux d'une balance. Mais si l'un des deux est plus éloigné du centre que l'autre, ils se balanceront comme dans la romaine, et quoiqu'ils figurent encore un levier de la





première espèce, un poids plus foible fera équilibre à un plus grand. Ainsi, si la poulie, comme dans la *fig.* 2, a différentes gorges, que le poids R de 6 onces soit suspendu à la distance d'un pouce du centre *c*, et celui de S de 3 onces, le soit à la distance de 2 pouces du même centre, les deux poids R et S, ils se balanceront, quoiqu'ils soient dans la proportion de 2 à 1. Si le poids S n'est que de 2 onces, il n'en produira pas moins le même effet sur R, pourvu que sa distance du centre soit proportionnelle à la diminution de son poids, c'est-à-dire qu'il soit trois fois aussi loin du centre *c* que R.

Voyons maintenant les poulies mobiles agir comme des leviers du second ordre. La poulie mobile A, *fig.* 4, *pl. II*, est fixée au poids W, avec lequel elle s'élève et s'abaisse. En la comparant avec le levier dont il s'agit, le point d'appui doit être considéré comme placé en F; le poids agit sur le centre *c* par le moyen de la chape *c h*, la puissance est appliquée en D, et la ligne DF représente le levier. La puissance, *fig.* 3, est, par conséquent, 2 fois aussi loin du point d'appui que le poids. L'effet, dans les deux cas, est le même, c'est-à-dire que la proportion entre la puissance et le poids doit être, pour se balancer, comme 1 à 2. Ainsi, il est évident que l'usage

de cette poulie, double la force, et qu'elle permet à un homme d'élever deux fois autant qu'il élèveroit lui seul. Comme la variété des démonstrations fixe l'attention et familiarise avec des idées qu'on n'auroit pas remarquées, nous allons présenter l'action des poulies sous d'autres points de vue. Chaque poulie mobile peut être considérée comme suspendue par deux cordes également tendues, qui doivent, par conséquent, porter des quantités de poids égales; mais la corde F G qui est attachée en G, soutient la moitié du poids, et l'autre partie de la corde à laquelle la puissance est appliquée, n'a que le reste à supporter; conséquemment, l'avantage obtenu est comme 2 à 1.

Lorsque, *fig.* 5, la chape supérieure qui est fixe, contient deux poulies, qui tournent sur leurs axes, et que l'inférieure en renferme également deux, qui, non seulement tournent sur leurs axes, mais s'élèvent avec le poids W, l'avantage gagné est comme 4 à 1. Car chaque poulie inférieure agissant sur une portion égale du poids, et chaque poulie se mouvant avec lui, diminue de moitié la puissance nécessaire pour le tenir en équilibre; elle sera donc égale à la moitié de la charge divisée par le nombre des poulies inférieures, c'est-à-dire, que le poids suspendu est à la puis-

sance comme deux fois le nombre de ces poulies est à 1. Mais si l'extrémité A, *fig.* 6, est fixée à la chape inférieure, elle soutiendra moitié autant qu'une poulie; ainsi, dans ce cas, la règle sera : le poids est à la puissance comme deux fois le nombre des poulies mobiles, plus l'unité, est à 1. Pour empêcher les cordes *a* et *b* de frotter l'une sur l'autre, la poulie fixe supérieure porte une double gorge. La poulie *d* n'appartient pas au système de poulies, elle n'est placée dans la figure que pour séparer les cordes et faire voir plus distinctement la puissance P.

Si au lieu d'une corde passant autour de toutes les poulies mobiles, on attache en haut une corde appartenant à chacune d'elles, comme on le voit dans la *fig.* 7, le rapport sera différent entre la puissance et le poids. Il est évident ici que chaque poulie double la puissance; ainsi, s'il y a deux poulies, la puissance soutiendra 4 fois le poids ou sa propre force; s'il y en a 3, elle le soutiendra 8 fois, et s'il y en a 4, 16 fois, comme on le voit dans la figure où le poids W de 16 onces est supporté par le poids P, qui n'est que d'une once. Ce système de poulies occupe beaucoup de place, élève le poids très-lentement, et n'est pas commode; aussi est-il rarement employé, malgré la grande puissance qu'il procure.

Ces règles sont applicables, quel que soit le nombre des poulies employées.

La place occupée par les poulies arrangées l'une sous l'autre, comme dans les *fig*. 5 et 6, est un inconvénient qu'on peut diminuer, en les plaçant l'une à côté de l'autre dans la même chape, comme dans la *fig*. 8. Les avantages et la règle pour la puissance sont les mêmes que dans les *fig*. 5 et 6. Dans cette espèce de palan, les cordes ne sont pas exactement parallèles, direction qu'on doit conserver autant que possible; mais ce défaut n'est pas ici très-considérable.

On doit préférer la direction parallèle à l'oblique, parce qu'elle exige une puissance moindre pour supporter le même poids; et la puissance doit être augmentée dans le même rapport que l'obliquité des cordes. Quand il y a plusieurs poulies dans la même chape, et que le bout de la corde auquel la puissance est appliquée, se termine à une des poulies extrêmes, celle-ci tend à gagner la ligne du centre de suspension ou le milieu des poulies mobiles auxquelles le poids est suspendu. En conséquence, le frottement des poulies contre les côtés de la chape est si grand qu'il égale quelquefois la puissance. Ainsi, la multiplicité des poulies employées de cette manière cesse bientôt d'être avantageuse; elles sont

rarement utiles quand elles vont au-delà de 3 ou 4. L'ingénieur Smeaton est le premier qui ait paré à cet inconvénient, en faisant aboutir la corde sur la poulie du milieu dans la chape fixe; par ce moyen, les chapes sont maintenues perpendiculairement l'une sous l'autre, et le frottement des poulies se réduit à celui qu'elles éprouvent sur leurs axes; mais cette amélioration ne peut avoir lieu que lorsqu'elles sont en nombre impair.

Pour éviter, autant que possible, le frottement et les oscillations d'un système de poulies, le mécanicien James White a inventé une poulie concentrique qu'on voit *fig.* 9. M et N sont deux de ces poulies, l'une fixe et l'autre mobile. Elles sont faites en cuivre, et produisent le même effet que s'il y avoit autant de poulies distinctes qu'il y a de gorges. Dans ce cas, comme dans la *fig.* 5, le poids étant divisé par le nombre de cordes, une livre en supportera 12.

En parlant d'un système de poulies, on entend toujours l'arrangement ordinaire, c'est-à-dire que le nombre des cordes est double de celui des poulies mobiles. Les *fig.* 4, 5 et 8 sont des systèmes de cette espèce.

On a vu, *fig.* 2, *pl. II*, que par le moyen d'une poulie à plusieurs gorges, deux poids inégaux pouvoient se balancer. De même, on

peut obtenir un équilibre constant entre deux puissances, dont le rapport de forces change continuellement. Les horlogers ont tiré un grand avantage de l'application de ce principe. Le ressort d'une montre agit toujours avec la plus grande puissance, immédiatement après qu'il est tendu, et son énergie diminue graduellement jusqu'à ce que la montre s'arrête. Si l'inégalité de cette puissance se faisoit sentir sur les rouages, la montre ne marcheroit pas deux heures avec la même vitesse; mais on a évité cet effet par la conformation particulière qu'on a donnée à la poulie avec laquelle le ressort tire la chaîne. Au lieu de faire plusieurs gorges concentriques sur la fusée, on n'en fait qu'une seule, mais qui est en spirale sur un cône tronqué, *voyez fig.* 10. Quand la montre est montée, la chaîne est tirée de la partie supérieure ou plus étroite *e* vers le barillet qui contient le ressort. Ce ressort est alors au maximum de force, mais il agit sur une partie si près du centre de mouvement, ou axe F G, que sa puissance sur les rouages est la même que lorsqu'il est près de s'arrêter. Alors, en effet, la foiblesse du ressort est favorisée par le grossissement de la fusée, qui le fait agir sur un levier plus long, ou à une plus grande distance du centre de mouvement, c'est-à-dire en *f*. Main-

tenant, l'altération dans la puissance du ressort, de sa plus grande à sa plus foible énergie, est graduelle; l'extension du levier ou l'augmentation de la distance du centre de mouvement, F G, l'est aussi entre les extrêmes *e f*; le ressort et la fusée peuvent être ajustés de telle sorte, l'un par rapport à l'autre, que la puissance agisse toujours sur les rouages avec la même énergie.

Nous devons faire une remarque qui a sûrement déjà été prévue par le lecteur, c'est que c'est la commodité seule et non une augmentation actuelle de puissance que nous obtenons à l'aide des machines; car, dans toutes les inventions, nous perdons un temps proportionnel à l'excès de force que nous obtenons. Cela devient évident si on considère les propriétés des leviers, et plus encore celles des poulies. Si un homme élève avec un palan un poids qui exigeroit la force de dix hommes, il est, en retour, dix fois plus de temps à l'enlever.

Supposons un homme qui, du haut d'une maison, élève un à un dix poids, au moyen d'une corde, en dix minutes, donnons-lui un palan à cinq poulies mobiles, il tirera les dix poids à la fois avec la même facilité qu'il en tiroit un, mais il y mettra dix fois plus de temps, c'est-à-dire dix minutes. Ainsi, on peut faire le même ouvrage dans

le même temps ; soit qu'on emploie le palan ou non ; mais il peut convenir que les dix poids soient réunis en une masse, et soient élevés à la fois ; chose qu'on ne peut faire sans machine, avec la force d'un seul homme.

Supposons qu'au lieu de dix poids, un homme tire dix seaux d'eau de la cale d'un vaisseau en dix minutes, et que ce vaisseau, faisant eau, en reçoive une égale quantité dans le même temps; par le moyen du palan, le matelot élèvera un seau d'une capacité dix fois plus grande avec la même force. Ainsi, dans ce dernier cas, il élèvera un plus grand seau, mais dans un temps aussi long que celui employé à en tirer dix ; il ne gagnera pas plus sur l'eau, dans ce dernier cas, que dans le premier.

La remarque que ce qui se gagne en force se perd en temps est exacte, même dans les machines sans frottement et sans inertie ; mais comme ces obstacles existent toujours, la vérité est, comme nous le verrons plus loin, que la puissance diminue au lieu d'augmenter par l'usage des machines ; mais la commodité qu'on obtient avec des machines bien faites dédommage amplement de la perte de puissance.

Du treuil.

Le treuil est une machine de la plus grande utilité, et dont la forme varie suivant ses

différentes applications. Elle ressemble beaucoup à la poulie; les mêmes explications serviront souvent pour l'une et l'autre; elle peut être considérée, ainsi que la poulie, comme un assemblage de leviers, ou comme un levier perpétuel, parce que le changement continuel de points de suspension ou de résistance l'affranchit des défauts du levier simple, qui ne peut soulever de poids qu'à de petites hauteurs.

Cette puissance mécanique se compose généralement d'une roue fixée sur un axe qui tourne avec elle. La force est appliquée à la circonférence de la roue, et le poids attaché à une corde qui s'enveloppe autour de l'axe. Il y a cependant une machine qui, dans le fait, n'a pas de roue, et qui porte la dénomination de treuil; c'est le cabestan, dont l'axe est tourné par une manivelle qui fait fonction de roue; sa révolution en fait un levier perpétuel; sa puissance est la même que celle d'une roue dont la circonférence est égale à celle du cercle que décrit la manivelle. C'est par cette raison qu'on le confond avec le treuil.

A B, *fig.* 11, est une roue, et C D, un axe fixe qui tourne avec elle. Si on tire la corde qui l'enveloppe, et que celle-ci se mette une fois en mouvement, il est évident que la quantité de la corde qu'on en aura développée sera

égale à la portion de la circonférence sur laquelle elle s'appliquera ; mais tandis que cette roue tourne, l'axe tourne aussi ; conséquemment, la corde par laquelle le poids est suspendu s'enroule sur l'axe, et le poids est élevé d'une quantité égale à la circonférence de cet axe. Ainsi la vitesse de la force sera à celle du poids comme la circonférence de la roue est à celle de l'axe. Dans ce cas, la charge et la puissance sont en équilibre, quand l'une est à l'autre comme la circonférence de la roue est à celle de l'axe.

Les mathématiciens démontrent que les circonférences des cercles ont entre eux les mêmes rapports que leurs diamètres respectifs ; conséquemment, la puissance et le poids se balanceront l'une l'autre, quand la première sera au second, comme le *diamètre* de l'axe est à *celui* de la roue. Ainsi, la *fig.* 2, *pl. II*, que nous avons déjà considérée comme une poulie à deux gorges concentriques, sera maintenant regardée comme un treuil; *d e* représente le diamètre de l'axe, que nous supposerons être d'un pouce, et *f g* le diamètre de la roue, que nous évaluerons à 6 pouces; une *once*, agissant comme la puissance R, balancera un poids ou résistance de 6 onces agissant comme un poids S. Quelle que soit la forme sous laquelle la machine se

présente, la proportion entre la puissance et le poids reste la même, quand la puissance est appliquée à la circonférence de la roue ou d'une manivelle; comme dans E, *fig.* 2, *pl. II*, et le poids à l'axe. Ainsi, si W pèse 100 liv., et la puissance P, ou force motrice en E, égale 10 liv., le diamètre de la roue, ou du cercle qui est décrit par la manivelle, étant dix fois plus grand que le diamètre de l'axe, ils seront en équilibre : une petite addition de force fera tourner la roue avec son axe, et quand le poids s'élèvera d'un pouce, la puissance tombera de 10.

Quand le treuil est considéré comme un levier perpétuel, le point d'appui est le centre de l'axe, le plus long bras est le rayon de la roue, et le plus court celui de l'axe. De là, il est évident que plus la roue est grande et l'axe petit, plus la machine a de puissance; mais alors, comme dans d'autres cas, le gain fait par la puissance est compensé par le temps perdu, qui est toujours proportionnel à la différence qui existe entre la puissance et la résistance.

Le cabestan est un axe ou cylindre de bois, avec des trous dans lesquels on insère des leviers pour tourner à l'entour; c'est une espèce de roue sans circonférence.

Dans quelques cas, le poids n'est pas attaché

à l'axe par une corde, mais immédiatement fixé sur lui. Une cloche, mise en mouvement, en est un exemple ; elle tourne autour d'un axe, et sa vitesse est comme la circonférence décrite par son centre de gravité.

Dans la grue circulaire, la puissance n'est appliquée à la roue ni par le moyen d'une corde, ni par des manivelles, mais par un homme qui marche dans cette roue. Comme il va toujours en avant, la partie sur laquelle il marche devient la plus pesante de la roue et descend au point le plus bas. Ainsi, en parcourant chaque partie de la circonférence de la roue, il lui fait achever sa révolution. Cette machine est peu commode ; elle exige une grande roue, n'a qu'une puissance bien foible, parce que l'homme n'agit pour ainsi dire que dans le point le plus bas de la roue. Elle est également peu sûre, car si la corde qui supporte le poids casse, ou si les pieds glissent, celui qui la manœuvre est exposé au plus grand danger. On suppose, dans la théorie, que la corde qui s'applique sur le treuil n'a pas d'épaisseur sensible ; mais si elle est forte, qu'elle double plusieurs fois autour de l'axe, il faut, pour obtenir le rayon de celui-ci, partir du milieu de la corde extérieure.

Si des dents sont coupées dans la circonférence d'une roue, et si elles engrènent

dans celles d'une autre de même grandeur, comme *fig.* 1, *pl. III*, il est évident que les deux roues tourneront dans le même temps, et le poids suspendu à l'axe de la roue B s'élèvera dans le même temps que si l'axe avoit été fixé à la roue A. Mais si les dents de la seconde roue doivent engréner dans celles qui sont pratiquées sur l'axe de la première, comme *fig.* 2, chaque partie de la circonférence de la roue D s'appliquera successivement à la circonférence de l'axe de la première roue C; et, comme E est beaucoup moindre que D, il est évident qu'elle tournera autant de fois de plus que D, que la circirconférence de D excède sa propre circonférence, ou, ce qui revient au même, si le nombre des dents dans l'axe E est divisé par celui des dents de la roue D, le quotient indiquera le nombre de révolutions que E doit faire pendant que D en fait une. Afin d'obtenir l'équilibre entre la puissance P et le poids W, la puissance doit être au poids, comme le produit des circonférences ou des rayons des deux axes multipliés ensemble est à celui des circonférences ou rayons des deux roues. Cela deviendra suffisamment clair si on considère le tout comme un levier composé, dont l'explication montre, *fig.* 2, qu'il exige la même proportion entre le poids et la puissance, et est par consé-

quent représenté par le levier composé, *fig.* 3. Les lignes ponctuées montrent la moitié du treuil : les différentes parties du levier sont égales aux rayons.

Au lieu de deux roues, on peut en combiner trois, quatre, ou un plus grand nombre, qui se commandent l'une l'autre ; et en augmentant le nombre des roues, et en les proportionnant aux axes, on acquiert le degré de puissance qu'on désire. En augmentant la longueur de l'axe, variant la grandeur des roues, et plaçant leurs dents quelquefois sur la circonférence, quelquefois sur le côté du cercle, l'action de la puissance peut être transmise à distance, la direction du mouvement changée, et la vitesse donnée répartie à chaque portion particulière.

Ce que nous avons appelé jusqu'ici *dents* de roues n'est pas constamment désigné par ce nom, quoiqu'elles le soient toujours dans les petits ouvrages, comme l'horlogerie. On emploie généralement cette dénomination quand les roues sont en métal, quelle que soit leur force.

Nous avons aussi appelé la petite roue E, *fig.* 2, *pl. III*, un axe, parce que nous raisonnions par rapport à l'effet; c'est la même chose que cet axe soit réellement denté, ou qu'une roue de cette grandeur soit sur un petit axe. C'est par suite de cette distinction que la pe-

tite roue E se nomme, en mécanique, un *pignon*, et quelquefois un *rouet*. Dans les grandes machines, on substitue souvent des *lanternes* aux pignons et aux rouets, parce qu'elles sont plus faciles à fabriquer et qu'elles font le même service. Ces lanternes sont des cylindres ou des fuseaux parallèles entre eux, placés circulairement dans deux pièces unies de bois, au sommet et à la base. Les dents de la roue pressent sur les fuseaux de la lanterne comme elles le feroient sur un pignon.

La grue, cette machine si utile pour élever de lourds fardeaux, tire son principal mérite du treuil. Elle est de construction très-variée, mais a toujours pour but d'élever un grand poids avec une force peu considérable. La *fig.* 4, *pl. III*, en donne un exemple; elle est fort adoptée aujourd'hui, parce qu'elle n'exige pas beaucoup de dépense, et qu'elle peut tourner de tous côtés. AB est un arbre tournant dans un collier de fonte en B, fixé dans le sol d'un quai, où il s'enfonce d'environ 12 pieds; il porte à sa partie inférieure un pivot d'acier, qui passe dans un collier de cuivre pour que l'arbre AB tourne librement et sans secousses. CD sont deux bras de jib avec une poulie fixe en E, sur laquelle passe la chaîne destinée à enlever les marchandises; l'autre bout de la chaîne s'enroule sur

l'axe *e* de la grande roue F de 98 dents. Cette roue engrène dans un pignon de 7 dents, placé sur le même axe que la roue G de 35 dents, et cette roue engrène elle-même dans le pignon H de 14 dents. Quand on a besoin d'une grande puissance, on met la manivelle à un carré pratiqué au bout de l'axe du pignon; mais pour un poids ordinaire on la place sur l'axe de la roue G. Dans ce cas, pour diminuer les frottemens, le pignon peut être dégagé en faisant glisser son axe dans le sens de sa longueur. On emploie, pour cet effet, un levier qui porte une fourchette qui s'engage dans une gorge pratiquée autour de l'axe; en poussant l'extrémité de ce levier à droite ou à gauche, il rapproche ou écarte le pignon de la roue. Le cadre contenant les roues est de fer fondu, boulonné à l'arbre A B par des bras verticaux, dont les faces sont en I K.

Ces machines sont munies d'une roue à rochet, comme *m*, avec un cliquet qui tombe dans les dents. Cette roue supporte le poids et l'empêche même de descendre, dans le cas où la personne qui tourne la manivelle retireroit, par inadvertance ou autrement, sa main pendant que le poids est suspendu. Cette méthode aisée de prévenir le danger qui résulteroit de la chute du corps, s'il étoit en liberté, ne doit jamais être omise.

Du plan incliné.

Le plan incliné est une surface plane qui forme un angle plus ou moins aigu avec le plan de l'horizon. Quand on veut descendre des barriques dans un cellier ou une cave, ou les en tirer, on les glisse sur une planche disposée le long des escaliers; on forme ainsi un plan incliné.

Le temps qu'un corps qui roule sur un plan incliné met à le parcourir, est, à celui qu'il emploieroit à descendre suivant la verticale, en vertu de la pesanteur dans l'espace libre, dans le même rapport que la longueur du plan à sa hauteur perpendiculaire. Toute la théorie du plan incliné repose sur ce principe.

Supposons que le plan AB, *fig.* 5, *pl. III*, est parallèle à l'horizon, le cylindre C restera en repos sur toutes les parties de ce plan. Si celui-ci est placé perpendiculairement comme AB, *fig.* 6, il ne contribuera en rien à supporter le cylindre C, qui descendra de toute la force de sa gravité, ou demandera une puissance égale à la totalité de son poids pour être retenu. Mais supposons que AB, *fig.* 7, soit un plan parallèle à l'horizon, et AD un plan qui lui soit incliné; si la longueur totale AD est trois fois aussi grande que la perpendiculaire DB, le cylindre C sera supporté sur

le plan, ou prévenu dans son mouvement rotatoire par une puissance égale au tiers de son poids. Il est clair, d'après cela, qu'il peut être roulé sur le plan par le tiers de la puissance qu'il faudroit pour le tirer sur le côté d'un plan vertical, comme A B, *fig.* 6, où la force requise doit être égale à la totalité du poids; mais il est à remarquer que, sur le plan incliné, le poids parcourt trois fois l'espace; ainsi, là, comme dans les autres cas, nous ne faisons que remplacer la puissance par le temps.

Comme le plan horizontal supporte la totalité du poids du cylindre C, et que le plan vertical ou perpendiculaire à l'horizon n'en supporte point, plus l'angle est aigu, moins il faut de puissance pour élever le fardeau; car plus le plan incliné est roide ou rapide, moins il supporte de poids, et plus le corps a de tendance à rouler.

Le poids est toujours très-aisément tiré ou poussé dans une ligne *g r*, parallèle au plan, et passant par le centre du poids; car si un bout de cette ligne est fixé en *g*, et l'autre incliné vers D, le cylindre C sera tiré contre le plan, et la puissance devra être augmentée proportionnellement à la plus grande difficulté de la ligne de traction; et si celle-ci est portée au-dessus de *r*, la puissance devra aussi être aug-

mentée, mais dans ce cas seulement proportionnellement à l'effort qu'il fait pour enlever le corps de dessus le plan. En réglant la puissance nécessaire pour supporter le cylindre C sur le plan incliné A D, on doit regarder la direction parallèle de la ligne de traction comme la plus favorable.

Quand on veut estimer le tirage nécessaire pour élever un chariot sur une montagne, il faut tenir compte de celui qu'il exige sur un terrain plan. Supposons que la montagne s'élève d'un pied sur quatre, le quart du poids doit être ajouté au tirage sur un plan horizontal. Si le poids est de 12 quintaux, et que le tirage sur le niveau soit évalué à 1 ½, le quart de 12 est 3, qui, ajouté à 1 ½, donne 4 ½ quintaux pour le tirage réellement nécessaire pour transporter 12 quintaux sur une montagne qui s'élève d'un pied sur quatre.

Du coin.

La cinquième puissance mécanique est le coin, qu'on fait de bois, de métal ou d'autre matière dure; il est épais d'un bout et mince de l'autre : celui-ci forme la pointe, et celui-là la tête ou la base du coin.

L'action du coin ressemble beaucoup à celle du plan incliné, mais sa théorie n'est pas complète. Quand on le fait pénétrer par

la percussion, comme cela arrive ordinairement, par le choc d'un marteau, il produit un effet beaucoup plus considérable que par la pression, et qu'il n'est pas possible de soumettre rigoureusement au calcul. Un poids de 500 livres, pressant sur la tête d'un coin, fera souvent moins d'effet qu'un marteau qui ne pèse que 2 livres, si, lorsque la force du coup est éteinte, il a acquis une vitesse capable de rendre son moment égal à 500 livres et de faire séparer le corps instantanément. Cette grande différence d'effet entre la pression et la percussion, quand les momens sont égaux, est peut-être due au mouvement ou à la vibration que produit la percussion dans les particules du corps ; quand elle est si violemment troublée, et que le coin est une fois entré, il éprouve moins de frottemens entre ses côtés et ceux du coin, et la cohésion de ses parties diminue. Ainsi, jusqu'à ce que nous connoissions la nature et la force de la ténacité des corps, et l'énergie avec laquelle ils vibrent sous une impulsion donnée, la théorie du coin ne sera pas susceptible de beaucoup de précision. Nous ne sommes pas cependant dans une obscurité complète, car la méthode suivante est généralement admise.

AB, *fig.* 8, *pl*, *III*, est un coin chassé dans la fente CDE du morceau de bois FG.

Si celui-ci n'est pas fendu à une certaine distance en avant du coin, il y a équilibre entre la force qui agit sur le coin et la résistance du bois sur ses deux côtés, parce que la puissance est à la résistance comme la moitié de l'épaisseur du coin à sa base, c'est-à-dire de A à B, est à la longueur d'un de ses côtés; parce que la résistance agit alors perpendiculairement aux côtés du coin. Mais si la résistance sur chaque côté agit parallèlement à sa base, la puissance qui balance celles qui s'exercent sur les deux côtés sera comme la longueur de la base du coin, ou double de sa hauteur perpendiculaire.

Lorsque la fente s'étend à une certaine distance au-dessous du coin, ce qui est généralement le cas, la puissance qui pousse le coin ne sera pas à la résistance du bois comme l'épaisseur de la tête est à la longueur des deux côtés du coin, mais comme la moitié de l'épaisseur, ou la longueur de la tête, est à la longueur de l'un des côtés de la fente, prise du sommet ou de la partie agissante du coin. La raison en est que si nous supposions que le coin est assez alongé pour atteindre le fond de la fente D, la proportion restera la même, c'est-à-dire que la puissance sera à la résistance comme la moitié de la longueur de la tête du coin est à la longueur de l'un de ses

côtés, ou ce qui revient au même, comme la longueur totale de la tête est à la longueur de ses deux côtés.

Moins la tête d'un coin est épaisse, c'est-à-dire plus l'angle de sa section longitudinale est aigu, plus son action est puissante, ou plus les effets qu'il produit par la même force sont considérables. Quand cet instrument est employé à fendre un corps dur, dont les parties adhèrent fortement ensemble, il acquiert d'autant plus d'avantage, qu'il pénètre à une plus grande profondeur. Par exemple, si la pièce de bois FG a trois bandages, *r s t*; d'égale force, et qui représentent la force de cohésion des parties du bois, on peut considérer le coin comme agissant par les bras DE, DC, de deux leviers angulaires. Si la force du coin excède un peu celle du premier bandage *r*, celui-ci sera brisé. Le second, *s*, quoique aussi fort que le premier, sera plus aisément rompu par l'action du même coin, parce que les bras du levier par lequel il agit sont alongés de la quantité *r s*; et la facilité croissante avec laquelle le dernier sera rompu, sera de même proportionnelle à l'augmentation de longueur des bras du levier, formés par les côtés de la fente.

Le coin est une puissance mécanique d'une

force singulière, et la percussion qui le fait agir, est précisément la puissance que nous pouvons accroître avec la plus grande facilité et presque indéfiniment. On peut, avec le coin, renverser les murailles d'une maison, fendre des rochers, élever les vaisseaux les plus pesans; opérations qu'on ne pourroit faire avec le levier, le treuil et la poulie.

La hache, le ciseau, l'aiguille, le couteau, et tous les instrumens armés d'un tranchant qui s'épaissit graduellement, sont autant de coins. Une scie est composée d'un nombre de ciseaux fixés sur une ligne, et le tranchant d'un couteau vu au microscope paroît comme une scie fine.

De la vis.

La sixième et dernière puissance mécanique dont nous ayons à parler, est la vis.

La vis, strictement parlant, consiste en deux parties, qui agissent l'une dans l'autre. L'une de ces parties, à laquelle on donne toujours le nom de vis quand ce mot est employé seul, est un cylindre *solide*, sur la circonférence duquel est pratiquée une rainure en spirale; l'autre partie est un cylindre creux, ou contient au moins, quelle que soit sa forme extérieure, un trou cylindrique, dans lequel est également taillée une rainure en spi-

rale, correspondant à celle de la vis convexe, de manière que les saillies spirales de l'une entrent dans les rainures spirales de l'autre. Cette dernière partie s'appelle en particulier l'*écrou*, et accompagne indispensablement la vis. La saillie spirale s'appelle le *filet*, et l'espace entre les filets forme le *pas*.

Pour avoir une idée de la nature de la vis et de son analogie avec le plan incliné, taillez un morceau de papier en forme d'un plan incliné, ou de la moitié d'un coin, comme LMN, *fig.* 9, *pl. III*, et roulez-le autour d'un cylindre, *fig.* 10, le bord de ce plan ou papier LMN formera une spirale autour du cylindre, qui donnera le filet de la vis. La hauteur du plan est le pas de la vis, ou la distance d'un filet à l'autre; sa base est la circonférence de la vis, et sa longueur s'estime par cette circonférence et la hauteur du pas.

On emploie rarement la vis, sans se servir d'un levier pour la tourner; elle devient alors une machine composée d'une grande force, soit pour comprimer les parties des corps, soit pour élever de grands fardeaux. Comme le levier ou la manivelle doit tourner une fois autour du cylindre avant que le poids ou la résistance puisse être déplacé de la hauteur d'une spirale, ou que la vis ait marché dans l'écrou de la distance d'un filet à l'autre,

comme de *a* à *b*, autant la circonférence du cercle décrit par le levier, sera plus grande que le pas de la vis, ou la distance entre les filets, autant la force de la vis excédera la force motrice. Supposons, par exemple, que le pas ou la distance entre les filets, soit d'un demi-pouce, la longueur du levier de 12 pouces, le cercle décrit par l'extrémité du levier où la puissance est appliquée, sera d'environ 76 pouces ou 152 demi-pouces, conséquemment 152 fois aussi grande que la distance entre les 2 filets contigus. C'est pourquoi, si l'intensité de la force motrice qui agit au bout du levier est égale à une livre, cette livre fera équilibre à 152 livres agissant contre la vis. Si on ajoute une force suffisante pour vaincre les frottemens, les 152 livres seront élevées, et la vitesse de la puissance sera à celle du poids comme 152 à 1. Ainsi, nous voyons clairement que plus le levier sera long, et les filets près l'un de l'autre, plus la force de la vis sera grande.

Le frottement d'une vis est très-grand, mais on en est amplement dédommagé par l'avantage immense qu'elle procure de soulever un poids ou de presser sur un corps contre lequel elle agit; il seroit impossible de citer tous les usages auxquels elle s'applique. Nous n'indiquerons que son application à mesurer

ou subdiviser de très-petits espaces; appliquée ainsi, elle prend le nom de *micromètre*; c'est un instrument fait pour indiquer par une portion sensible d'un cercle un mouvement progressif d'écrou moindre qu'une cinquante millième partie d'un pouce.

Les filets des vis sont formés différemment, selon les matériaux dont ils sont faits ou l'usage auquel on les destine. Les filets des vis en bois sont généralement angulaires, ils ont une base large, et par conséquent une très-grande force. Les petites vis, quelle que soit la matière dont elles sont formées, ont aussi leurs filets angulaires, non seulement par la même raison, mais parce qu'ils sont plus aisés à faire. Les vis métalliques qui servent aux grandes presses ont le filet carré, forme qui augmente la surface de chacun d'eux, et par conséquent le frottement, mais qui a l'avantage d'avoir plus de stabilité dans son mouvement.

Dans la vis commune à laquelle les observations précédentes sont exclusivement applicables, les filets sont une spirale continue d'un bout à l'autre; mais il y en a qui ont deux ou plusieurs spirales séparées et tournant ensemble, comme la vis de la presse à imprimer, dont la descente dans une révolution est proportionnellement augmentée; et, quel que soit le nombre des spirales, il faut

n'en considérer qu'une seule pour l'évaluation de la puissance de la vis.

De la vis sans fin.

On taille quelquefois une vis sur un axe, pour servir comme un pignon qui tourne ou est tourné par une roue, on la nomme alors vis sans fin, parce qu'elle tourne perpétuellement sans avancer ni reculer; elle n'a qu'un mouvement rotatoire. Les filets de la vis sans fin sont de forme carrée, et taillés exactement pour entrer dans les espaces des dents d'une roue, qui sont elles-mêmes coupées obliquement pour correspondre à l'inclinaison du filet de la vis sans fin. Quand elle a fait un tour, la roue n'a fait qu'une portion de tour égale à la distance de ses filets, c'est-à-dire qu'elle a marché d'une dent, et c'est pourquoi le nombre de ses dents est toujours égal au nombre de révolutions faites par la vis, avant qu'elle ait accompli la sienne.

La construction de cette vis, et les avantages mécaniques qu'elle donne, peuvent être démontrés par une figure. La roue C, *fig.* 11, *pl. III*, a une vis sans fin B, sur son axe, qui engrène dans la roue D, de 48 dents. La vis B et la roue C étant sur le même axe, chaque fois que la manivelle leur fait faire une révolution, la roue D avance d'une dent; et

ainsi il faudra 48 révolutions de la manivelle pour en produire une dans la roue D. Si la circonférence du cercle décrit par la poignée de la manivelle A est égale à la circonférence d'une gorge pratiquée autour de la roue D, la vitesse de la première sera 48 fois plus grande que celle de la dernière ; conséquemment, si une corde G enveloppe la gorge et porte un poids de 48 livres, une livre de puissance à la manivelle suffira pour le balancer. Si on construit un appareil pour cette démonstration, on fera les circonférences des roues C et D égales entre elles, alors si le poids S d'une livre H est suspendu par une corde passant sur la gorge de la roue C, il balancera un poids de 48 livres, suspendu par la corde G, et une petite addition à l'un de ces poids, rompra l'équilibre et fera marcher l'autre.

Si une corde G, au lieu de passer sur la roue D, s'enveloppoit sur son axe I, la puissance de la machine seroit d'autant plus accrue, que la circonférence de la roue excéderoit davantage celle de l'axe. Si la circonférence de la roue est 6 fois plus grande que celle de l'axe, une livre en H balancera 6 fois 48 ou 288 livres attachées à la corde de l'axe. La puissance gagnée sera donc comme 288 à 1; et un homme qui enlèveroit naturellement

un poids de 100 livres, soulèveroit, à l'aide de cette machine, 28,800 livres.

La vis sans fin offre un moyen simple de diminuer ou augmenter beaucoup le mouvement rotatoire, et d'accomplir à la fois ce qui exigeroit l'intervention de 2 ou 3 roues. Elle possède l'avantage de mouvoir ou d'être mue par la roue avec plus d'uniformité que par un pignon, quand il est indifférent d'employer l'un ou l'autre. Cette circonstance n'est peut-être pas assez appréciée par les mécaniciens, car souvent la vis sans fin n'est pas employée où elle seroit avantageuse. Les roues de fonte de fer sont devenues d'un usage général pour toutes les machines qui demandent de la force dans les rouages; elles durent plus et ont moins de volume que celles de bois; c'est ce qui leur a valu la préférence, mais il est difficile de les faire justes. Elles participent nécessairement aux défauts du modèle dont on s'est servi pour les couler; et il y en a peu de bons, mais en supposant toutes les difficultés de cette espèce vaincues, les bulles d'air, l'inégalité de la contraction qu'éprouvent les diverses parties présentent d'autres obstacles, et quand même on parviendroit à en triompher, les secousses qu'elles donnent à la machine par l'inexactitude de leurs dents, est une cause de destruction à laquelle il n'est

pas aisé de remédier. Ainsi, quand on a besoin de mouvemens doux et égaux, on doit employer la vis sans fin. La seule objection qu'on puisse faire à son usage, c'est qu'elle s'use facilement quand le mouvement est rapide, mais dans ce cas, elle doit être faite de bon acier bien trempé.

Des machines composées.

Quand deux ou plusieurs puissances mécaniques simples, sont mises en action conjointement pour produire un effet donné, l'assemblage résultant de cette union forme une machine *composée* ou simplement une machine.

Quoique chacune des puissances mécaniques soit capable de vaincre la plus grande résistance possible en théorie, son usage seroit souvent si incommode, qu'il rendroit ses propriétés illusoires dans la pratique. Il est plus convenable de les combiner ensemble; par ce moyen on applique plus facilement la puissance, et on obtient divers autres avantages.

De quelque manière qu'elles soient combinées, les puissances mécaniques conservent leurs propriétés; ainsi, dans les machines simples, comme dans les machines composées, ce qu'on gagne en force on le perd en temps

ou en vitesse; conséquemment, si une puissance donnée élève une livre avec une vitesse donnée, il sera impossible que la force élève par le secours d'une machine deux livres avec la même vitesse; mais elle les élèvera avec la moitié de cette vitesse, ou elle élèvera mille livres avec la millième partie de cette vitesse, encore n'y a-t-il pas une aussi grande quantité de mouvement produite, parce que les poids les plus lourds se meuvent proportionnellement moins vite que les plus légers. La puissance des machines ne consiste qu'en ce que elles diminuent à volonté la vitesse du poids, et qu'on peut, avec une force donnée, vaincre une résistance aussi donnée; et les avantages qu'elles nous offrent se bornent à la commodité: par exemple, nous pouvons avec des machines assigner une direction convenable à la force motrice, et appliquer son action à une certaine distance du corps mis en mouvement; ce qui est de la plus haute importance. Nous pouvons aussi, à l'aide des machines, modifier l'énergie de la puissance motrice, et produire des effets qu'on n'auroit pas sans elle.

Il faut toujours que les machines soient simples; plus elles sont compliquées et plus elles se dérangent fréquemment, plus elles sont difficiles à réparer; elles coûtent plus,

sont sujettes à plus de frottemens, attendu le nombre et l'étendue des parties frottantes. Une machine très-complexe peut être une présomption en faveur du génie de l'inventeur; mais dès qu'on trouve une méthode plus simple de produire le même effet, sa célébrité diminue, et on reconnoît que le génie sans science ne peut s'exercer que sur peu de chose, et qu'il faut plus de talent pour diminuer les parties d'une machine que pour les multiplier.

Nous observerons à ceux qui s'occupent d'inventions nouvelles en mécanique, et qui ne possèdent que peu de connoissances pratiques, que l'exécution des modèles ou des petites machines destinées à faire des essais, peut les satisfaire, sans que l'exécution en grand, lorsqu'elle a lieu, donne les avantages qu'on attendoit, ou remplisse le but qu'on s'étoit promis. Une grande machine n'a pas la même force relative qu'une petite, elle n'admet pas la même perfection dans le travail, et en général elle ne peut être faite avec des matériaux aussi bons, et avoir aussi peu de frottement ; au contraire, il arrive quelquefois qu'un modèle marche mal, et que la machine exécutée en grand donne des résultats avantageux ; cela peut arriver lorsque quelques unes des parties sont si pe-

tites et d'une espèce telle qu'il faut une grande perfection de travail pour les faire justes. L'expérience peut seule apprendre l'art de leur donner les proportions convenables dans ces différens cas.

Pour évaluer la puissance mécanique d'une machine, il suffit de mesurer l'espace décrit dans le même temps, par la force et la résistance ou le poids, car la force balance toujours la charge, quand elle est dans la même proportion que la vitesse de l'une est à celle de l'autre. Pour cela, divisez la machine dans les simples dont elle est formée, alors, commençant par la puissance que vous prendrez pour l'unité, et par les propriétés des puissances mécaniques, trouvez en nombres la force que la première machine simple exerce sur la seconde. Prenez cette force pour 1, et trouvez la force en nombres avec laquelle celle-ci agit sur la troisième. Prenez encore cette force pour unité, cherchez son action en nombres sur la quatrième, et ainsi de suite jusqu'à la fin. Multipliez alors ensemble tous les nombres ou rapports individuels de la puissance au poids, le produit sera la force de la machine, en supposant que la première puissance est l'unité. Cela a été démontré par la méthode de calculer la puissance d'un levier composé.

Dans les engrenages des machines, il est évident, d'après les principes que nous avons exposés, que la vitesse d'une roue est à celle d'un pignon, ou de la plus petite roue qu'elle conduit, ou par laquelle elle est conduite, comme le diamètre est à la circonférence, ou comme le nombre des dents du pignon est au nombre des dents de la roue. Si les dents d'une roue sont au nombre de 80, et celles d'un pignon de 10, celui-ci fera huit révolutions pendant que la roue en fera une, parce que 80, divisés par 10, donnent 8 pour quotient.

Si le produit des dents d'un nombre de roues, agissant sur autant de pignons, est divisé par celui des dents des pignons, le quotient donnera le nombre de tours du dernier de ceux-ci pour un tour de la première roue. Ainsi, si une roue A, *fig.* 12, *pl. III*, de 48 dents, agit sur un pignon B de 8, sur l'axe duquel est une roue C de 40, menant un pignon D de 6, portant une roue E de 36, qui engrène avec un pignon F de 6, portant un index, le nombre de tours, fait par l'axe du dernier pignon, et conséquemment par l'index, se trouvera de la manière suivante : $48/8 \times 40/6 \times 36/6 = 69120/288 = 240$, qui sera le nombre de tours faits par l'index pour un tour de la roue A.

Il est évident que, quel que soit le nombre

de dents dans les roues et les pignons, si elles conservent le même rapport, elles donneront le même nombre de révolutions à l'axe. Ainsi, $^{64}/_{10} \times ^{50}/_{8} \times ^{36}/_{6} = ^{115200}/_{480} = 240$, même nombre que ci-dessus. Ces nombres peuvent donc être variés à la discrétion de l'ingénieur, et suivant l'objet qu'il se propose. Une seule roue et un seul pignon donneront le même mouvement que plusieurs roues et plusieurs pignons, si les dents contenues respectivement dans la seule roue, avec son pignon, ont les unes par rapport aux autres le même rapport que le produit des dents d'un train de roues avec celui des dents des pignons appartenant à ce train.

Nous voulons calculer la puissance d'une machine compliquée; nous prendrons pour exemple la grue, *fig.* 4; *pl. III.* Lorsque la manivelle est fixée à l'axe de la roue H de 14 dents, si la longueur de *l* au centre du bout carré de l'axe sur lequel elle est attachée est quatre fois le demi-diamètre du pignon H, la partie agissante du levier sera 4 fois la longueur de la partie résistante, et elle agira sur la roue G avec 4 fois l'effet de la même puissance appliquée directement en G, comme, par exemple, si on la faisoit tourner en poussant ses dents. C'est pourquoi si l'homme qui est à la manivelle exerce une force de 30 li-

vres, son effet sur la roue G sera égal à 120 livres. Si G est tourné par H avec une force de 120 livres, et a deux fois et demie autant de dents, elle ne fera qu'une révolution pendant que H en fera deux et demie ; le pignon exercera une force de deux fois 120, plus une demie ou 300 sur la roue F. Mais comme la roue F a 14 fois autant de dents que le pignon qui la mène, ses révolutions seront 14 fois moindres que celles du pignon, et la puissance sera proportionnellement augmentée. Ainsi, 14 fois 300, ou 4,200, exprimera le poids qui s'il étoit suspendu à la circonférence de la roue E, feroit équilibre à une puissance de 30 à la manivelle. Ce poids n'est pas suspendu à la circonférence de la roue F, mais à la circonférence de son axe, qui est 4 fois moindre. Sa vitesse est diminuée dans la même proportion, et son intensité doit être quadruple pour avoir le même effet sur la puissance. C'est donc 4 fois 4,200, ou 16,800 livres, qui exprimera le poids qu'une force de 30 livres, appliquée à la manivelle, sera capable de tenir en équilibre sur l'axe de la roue H. Cet équilibre obtenu, une petite addition de puissance, dont on parle rarement, suffit pour donner le mouvement au poids, de sorte que la puissance qui produit l'équilibre est regardée comme si elle étoit actuellement suffisante pour élever

le poids. Nous avons supposé que la grue n'avoit qu'une manivelle; mais ces machines en ont généralement deux, une à chaque extrémité du même axe; une intensité double emportera donc un poids double. Nous avons aussi supposé que la puissance n'est que de 30 livres, parce que c'est cette intensité de force qu'exerce ordinairement un homme appliqué à une manivelle; mais comme dans la manière ordinaire d'exprimer l'avantage obtenu par une machine, la puissance est prise pour 1, il faut diviser 16,800 par 30; nous aurons alors pour quotient 560, qui est à 1 comme 16,800 est à 30. Cela montre combien la vitesse de la puissance excède celle du poids quand la vitesse du dernier est 1. La différence de ces vitesses indique la puissance de la machine; ce qui est synonyme avec cette expression, qu'une livre en élève 560.

Une autre méthode d'exprimer la force de la grue consiste, au lieu de procéder d'une roue à l'autre, à diviser 3,420, produit des dents dans les roues F et G, par 98, produit des dents dans la roue H et le pignon sur l'axe de G, le quotient de cette division sera 35 qui, multiplié par 4, différence entre le rayon du cercle décrit par le bras de la manivelle et le rayon de la roue H, et encore par 4, ou la différence entre le rayon de l'axe au-

tour duquel la chaîne s'enroule et le rayon de la roue F, donnera, comme ci-dessus, 560 pour la puissance gagnée.

L'application pratique des mécaniques à la construction des machines est un sujet de la plus haute importance; leur prospérité influe matériellement sur le commerce, puisque le commerce tient particulièrement aux manufactures, et que les manufactures les plus importantes sont intéressées à l'introduction des machines. C'est à cette source qu'on doit rapporter l'augmentation de la fortune publique. On trouve cependant encore des gens qui croient qu'elles sont préjudiciables aux intérêts de l'espèce humaine; ils s'imaginent qu'elles diminuent le travail, qui donne au peuple des moyens d'existence. Cette opinion est inexacte, lorsqu'on l'applique à la société en général, parce que les ouvriers qui souffrent momentanément trouvent bientôt d'autres moyens d'exercer leur industrie. Les machines donnent aux manufactures l'avantage de livrer leurs produits à plus bas prix; ils obtiennent, par cette raison, la préférence dans les marchés étrangers où on ne pouvoit les porter auparavant; ils font refluer dans le lieu où on les confectionne une masse de capitaux qui tournent à l'avantage de la classe laborieuse, parce qu'on ne peut dépenser

sans augmenter la somme du travail, et la faire participer aux avantages généraux. Ainsi, les intérêts réels de tous les rangs sont inséparables; et nous voyons que, quoiqu'on ait beaucoup multiplié les machines ces quarante dernières années, et qu'on en ait introduit dans quantité de manufactures, la valeur de la main-d'œuvre, loin de baisser, a augmenté dans les mêmes proportions que les autres articles. Les machines tendent donc à multiplier les choses nécessaires et celles de luxe; il faut seulement qu'il se fasse une juste division des bénéfices qui en résultent, toutes les objections disparoîtront alors. Mais cette juste répartition ne peut être obtenue par la violence, ni par des lois; elle ne peut arriver que par l'exclusion de tous les monopoles et la liberté du commerce. Laissez chaque individu conduire ses affaires, chacun y gagnera; si une source d'industrie se tarit, il s'en ouvrira d'autres : le bénéfice sera proportionnel au talent, lorsque chaque branche des sciences deviendra le partage de ceux qui sont nés pour la cultiver. Ainsi l'introduction des machines, loin d'être nuisible, sera une nouvelle source de prospérité.

En construisant des machines, il faut toujours se ressouvenir que rien ne contribue plus à leur perfection, surtout si elles sont dans

de fortes proportions, qu'une grande uniformité de mouvemens. Chaque irrégularité à cet égard altère quelques unes des puissances d'impulsion; chaque secousse occasionne des mouvemens de vibration dans l'intérieur des pièces elles-mêmes, qui détruisent la cohésion des substances les plus solides, et sont surtout préjudiciables à la fonte de fer, et les pressions aux points de communications sont variables et inégales. Une grande machine, construite sans avoir égard à l'uniformité de ses mouvemens, ébranle le bâtiment le plus solide; au contraire, quand ses mouvemens sont uniformes, l'inertie de chacune des parties tend à la conserver, et le travail se fait avec plus de facilité.

En modifiant le mouvement de la première puissance, et en le faisant communiquer d'une manière convenable avec l'objet sur lequel elle doit agir, le mouvement lent d'une roue à eau peut se convertir en un mouvement de va-et-vient rapide, pour faire agir une scie. On en accélère ou diminue la vitesse suivant qu'on veut avoir une grande force ou faire rapidement. De cette manière, le mouvement rectiligne de la tige du piston d'une machine à vapeur sera, par le moyen de leviers parallèles, joints à cette tige, et portant un volant, converti en un mouvement de rotation qui

sera encore, à l'aide de rouages, appliqué à faire mouvoir des meules, des scies circulaires et d'autres machines semblables qui demandent une grande vitesse, ou pour celles à forer, à couper les bois de teinture, à tirer les tuyaux de plomb. Ce travail, qui exige une grande puissance dans le moteur, doit par conséquent se faire avec moins de vitesse.

Ce sont les roues dentées qu'on emploie le plus généralement pour modifier un mouvement rotatoire. Lorsque les dents sont bien faites, les roues consomment moins de force à vaincre les frottemens que tout autre mode de transmettre le mouvement. Quand on fait les dents des roues, il est de la plus grande importance de leur donner la forme la plus convenable, surtout si une grande engrène dans une très-petite. Les dents doivent être parfaitement égales, et d'une force suffisante pour résister à la force qui les fait agir. Plus il y a de dents dans une roue, moins il faut de temps pour que l'une d'elles agisse sur la suivante. Lorsque plusieurs dents agissent à la fois, la communication du mouvement est plus douce et plus uniforme. Pour obtenir de la force quand les dents sont très-fines, on doit augmenter la largeur ou l'épaisseur de la roue; c'est là une des plus grandes améliorations qui aient été faites dans les machines

depuis vingt ans. Quand les dents sont espacées de 3, 4 ou 5 pouces, elles agissent inégalement l'une sur l'autre, les points de contact deviennent alternativement plus près ou plus loin du centre de l'une ou de l'autre roue; le rayon agissant de l'une est ainsi augmenté, tandis que celui de l'autre est diminué, et leur vitesse et leurs puissances variant avec chaque dent, la machine travaille par secousses. Les roues marchent plus uniformément, lorsque les dents de la grande roue sont faites de bois dur, et celle de la petite, de fonte de fer.

Le mouvement rotatoire est souvent transmis par le moyen d'une courroie, surtout quand on a besoin d'un mouvement prompt, et que la réaction à vaincre est presque égale à l'action. Dans ces cas, il a de l'avantage sur les roues, par sa simplicité, la facilité de son mouvement, et la distance à laquelle il peut être envoyé. La courroie passe dans une poulie qui est plus haute dans le milieu de sa circonférence; autrement, elle glisseroit facilement. Si l'une des poulies s'arrête, tandis que la courroie continue de marcher par suite du mouvement de l'autre, elle se dégagera instantanément, à moins que la largeur de la circonférence de la poulie n'excède beaucoup celle qu'elle a elle-même. Cette propriété est

très-utile dans mainte occasions où les machines seroient dérangées ou détruites, si elles sont mues par des rouages et s'arrêtoient accidentellement. La courroie doit être partout d'une épaisseur et d'une largeur égales. Souvent ses joints sont consolidés par une couture; mais la meilleure méthode d'unir deux morceaux de cuir, est de le faire avec de la colle de poisson, de la levure de bière et de l'huile de lin bouillie. Les bouts qui devront se croiser seront amincis, pour qu'ils ne soient pas plus épais que le reste du cuir lorsqu'ils seront placés l'un sur l'autre.

Les roues qui sont conduites par une courroie ne font jamais autant de révolutions qu'elles le devroient, d'après le calcul du diamètre des poulies sur lesquelles elle passe. Quelquefois elle glisse un peu; mais la principale source d'erreur a été attribuée à son élasticité, qui lui permet de s'étendre sur le côté, et de fouetter d'autant plus, que la distance entre les poulies est plus grande; mais cette erreur est si petite qu'on peut la négliger.

On emploie quelquefois, pour communiquer le mouvement, des cordes ou des sangles, surtout pour les tours; alors la gorge de la poulie a une forme angulaire, pour que la la corde ne touche pas au fond; de cette manière elle ne glisse pas. Le bois est ce qu'il y

de mieux pour faire des poulies, parce que le poli qu'acquiert promptement le métal ne retient pas fermement la corde. Le bois doit être coupé en travers, c'est-à-dire que ses fibres doivent être dans la direction de l'axe, afin que toutes celles de la circonférence, étant d'une texture semblable, portent également. Il y a deux méthodes de placer la corde sur la roue : l'une consiste à la faire porter sur la roue et sur la poulie par les points correspondans, la partie supérieure de la corde passant directement sur les parties supérieures de la roue, et la portion inférieure sur les parties les plus basses; l'autre fait croiser et passer la corde de la partie supérieure de la roue à la partie inférieure de la poulie. Ce moyen vaut mieux, parce qu'il enveloppe une plus grande partie de la poulie, et produit un meilleur effet que l'autre, même quand elle n'est pas aussi tendue.

La chaîne sans fin sert aussi à communiquer le mouvement, et lorsqu'il y a à craindre qu'elle ne glisse, on pratique des dents sur les roues, qui reçoivent les mailles de la chaîne; elles sont faites avec la plus grande exactitude.

Pour les petites machines, il y a un moyen de communiquer le mouvement dont on s'est servi avec succès. Il consiste à couvrir la circonférence des roues avec de la peau de buffle,

qui produit un frottement suffisant pour les faire tourner l'une sur l'autre très-librement, et sans être pressées considérablement ensemble. Le même principe a été adopté en grand pour un moulin à scie dont les roues agissent l'une sur l'autre par le contact du grain du bois au lieu de dents. La machine fonctionne bien, fait peu de bruit et marche depuis vingt ans. Si on adoptoit ce mode de transmettre la puissance, un perfectionnement à y apporter seroit de faire presser les roues l'une contre l'autre par des coins ou des leviers.

Quand on a besoin d'un mouvement de va-et-vient inégal, il faut beaucoup d'art pour l'obtenir d'une manière avantageuse : on se sert souvent de roues excentriques, mais la manivelle commune est ce qui est le plus usité, pour convertir un mouvement de va-et-vient en mouvement circulaire ou réciproquement. On a fait des tentatives pour les pistons des pompes, par un double rang de dents taillées sur leur tige : une demi-roue engrenoit dans les dents d'un côté et l'élevoit au haut de sa course, où la demi-roue quittoit le côté du râtelier, elle engrenoit les dents de l'autre, et forçoit le piston de descendre. On avoit proposé ce moyen comme un grand perfectionnement pour corriger le

mouvement inégal du piston; mais il occasionne un changement de mouvement si brusque qu'il est inadmissible dans la pratique ; plus la machine seroit puissante, plus tôt elle seroit mise en pièces.

Quand on a à élever des pilons qui doivent retomber sur de la matière à pulvériser, les cames par lesquelles ils sont élevés doivent avoir une forme telle, que le pilon soit élevé par une pression uniforme, ou avec un mouvement d'abord presque imperceptible. Si ces cames ont la forme de chevilles fixées d'équerre sur un axe, le pilon est forcé par à-coups. Cela occasionne des secousses dans la machine, et un grand effort sur toutes les parties mouvantes et leurs points d'appui ; au lieu que lorsque l'élévation est graduelle, l'inégalité du mouvement n'est jamais sentie au point de la machine qui reçoit l'impulsion. Pour éviter les inconvéniens d'un mouvement brusque donné à un marteau de forge de 700 liv. on forme les cames pour l'élever, en spirale, qui lui communiquent un mouvement sans secousses, mais il ne s'élève pas si haut que lorsqu'il est mu par une came ordinaire, et sa chute produit moins d'effet sur le fer. La came de forme ordinaire doit donc être substituée à la spirale, car dans cette opération le mouvement rapide du marteau est absolument in-

dispensable; il n'est pas plus tôt levé qu'il doit être lancé par l'élasticité d'un fort morceau de bois de chêne qu'il a soulevé avec lui, avec une vitesse considérable, pour frapper le fer comme s'il tomboit d'une grande hauteur; ainsi, avec la spirale, il eût peut-être été élevé à la même hauteur, mais dans un temps double.

Tous les grands mouvemens devroient être supportés par un châssis de bois ou de fer sur bois, indépendamment de la maçonnerie destinée à les contenir; l'oubli de cette disposition a quelquefois causé la chute des bâtimens. Si l'axe d'une roue à eau, par exemple, porte sur la muraille d'un bâtiment récemment fait, il empêchera par son ébranlement que le mortier acquière de la force, et la muraille perd ainsi de sa solidité. Dans ce cas, on fait supporter l'axe sur une pièce de chêne percée d'un trou. Cela adoucit tous les tremblemens comme ceux des ressorts d'une voiture, et une extension prudente de ce principe sera utile dans beaucoup de constructions.

On a fait dernièrement, pour éviter l'effet d'une pression soudaine ou la saccade des parties d'une machine, qui passe d'un état de repos à celui d'un mouvement brusque, une invention ingénieuse qui mérite d'être connue. Le bras de la manivelle qui donne le mouvement à la machine, n'est pas fermement fixé sur l'arbre tournant de celle-ci, mais il est

fait de deux parties réunies par des vis, et entre lesquelles l'arbre se trouve tellement serré, qu'il éprouve assez de frottement pour tourner par l'action de la manivelle; mais le mécanisme indiqué glisse sur l'arbre, si la résistance est plus grande que le frottement, qui devient ainsi la mesure de la puissance développée par la machine.

Les moyens de faire communiquer ou d'isoler les mouvemens sont très-variés. Les supports des arbres des roues dentées sont quelquefois mobiles, de manière que les roues peuvent être séparées autant qu'il est nécessaire pour que leurs dents ne se rencontrent pas. D'autres fois, l'une des roues est arrangée pour pouvoir glisser sur une partie cylindrique de son axe, sur laquelle on la pousse avec un levier disposé à cet effet, afin qu'elle ne se rencontre plus devant l'autre. Les roues d'angle sont facilement désengrenées en reculant un peu l'un des bouts de leur axe. Pour produire le même effet sur une courroie, on place deux poulies l'une auprès de l'autre sur l'axe qui reçoit le mouvement circulaire. L'une d'elles est fixée sur cet axe et tourne avec lui, l'autre glisse dessus. Lorsqu'on veut arrêter le mouvement, on pousse la courroie vers cette dernière roue sur laquelle elle passe et qu'elle fait tourner en glissant sur l'axe sans communiquer de mouvement à ce dernier; mais,

dans ce cas, la roue qui donne le mouvement doit être d'une largeur égale à celle des deux poulies. Ce moyen est fort employé, on l'applique aussi au tour.

On a souvent besoin de porter momentanément le mouvement d'une roue ou d'un axe sur une autre partie. On produit cet effet de plusieurs manières; la plus commune consiste en deux roues d'angle semblables et placées sur le même axe, leurs dents se regardant. On dispose une troisième roue d'angle perpendiculairement à celles-ci; et comme ses dents, par le simple mouvement d'un levier, agissant sur l'arbre des deux premières roues, peuvent être engrenées à volonté, quand elles agiront sur l'une ou l'autre de ces roues, elles communiqueront un mouvement en sens contraire. Smeaton a appliqué ce mouvement pour tirer le charbon des puits des houlières.

Des volans.

Dans toutes les machines, la force motrice et la résistance sont sujettes à des variations d'intensité. Il devient donc extrêmement important pour plusieurs d'entre elles, d'avoir un moyen d'accumuler l'excès de la puissance, pour le distribuer quand elle-même commence à foiblir. Cette répartition uniforme du mouvement s'obtient par ce qu'on appelle

un *volant*. Il a ordinairement la forme d'une roue, quoique quelquefois il soit formé de deux barres qui se croisent dans le milieu à angle droit et avec un poids aux 4 extrémités.

Un volant étant fait pour tourner avec son axe, s'empare de la force de la puissance et la distribue également dans toutes les parties de sa révolution. Quant à son poids, une petite variation dans la force, n'altère pas sensiblement son mouvement, tandis que son frottement et la résistance de la machine empêchent qu'il ne s'accélère. Si la puissance motrice se ralentit, il pousse la machine en avant, et si elle tend à augmenter, il la retient.

Il faut dans toutes les machines qui sont munies de volans, ou donner d'abord une plus grande force que celle qui seroit nécessaire sans lui, ou mettre le volant en mouvement quelque temps avant que la puissance soit appliquée à la machine. Cet excès de force est recueilli par le volant, qui n'est au fait qu'un réservoir de mouvement. Un homme tournant une manivelle, exercé sur elle une pression très-irrégulière. Il peut, dans deux de ses positions à chaque tour, exercer une force d'environ 70 livres sans fatigue, mais dans les autres il peut à peine en dépenser 25; avec un volant placé sur l'axe de la manivelle, il agira avec une égale facilité dans tous les points, avec une force de 35, et même de 40 liv.

Le mouvement communiqué à un volant par une petite force peut s'accumuler au point de produire des effets que la force originaire n'auroit jamais pu accomplir. Atwood a démontré dans « son traité du mouvement rectiligne et rotatoire » qu'une force équivalente à 20 livres, appliquée pendant 37 secondes à la circonférence d'un cylindre de 20 pieds de diamètre qui pesoit 4713 livres, pouvoit, à la distance d'un pied du centre, donner à une balle de fusil, une impulsion égale à celle que lui imprime une forte charge de poudre. Dans l'espace de 6 minutes et 10 secondes le même effet seroit produit, si la roue étoit tournée par un homme qui exerceroit constamment une force de 20 livres sur une manivelle d'un pied de long. Cette accumulation de puissance dans le volant, a fait penser qu'il ajoutoit à la force mécanique de la machine, parce qu'on ne comprenoit pas bien d'où dépendoit son efficacité, et qu'on ne considéroit pas que s'il communiquoit une puissance qu'il n'avoit pas reçue, il falloit qu'il possédat un principe de mouvement en lui-même; en conséquence, on le plaçoit souvent de telle sorte, qu'il ne faisoit plus qu'ajouter un fardeau inutile à la machine. S'il est destiné à servir simplement de régulateur, on le place près de la première puissance;

s'il doit accumuler la force dans les pièces qui agissent sur la résistance, il ne doit pas en être bien éloigné.

Il est certain qu'un volant n'augmente pas le mouvement absolu d'une machine; car si un homme n'est pas capable de la manœuvrer sans volant, il ne le sera pas plus avec cette pièce; non plus que de continuer le mouvement, s'il avoit été déterminé par une plus grande force. La création apparente du mouvement à l'aide d'un volant, consiste à concentrer en un moment les efforts de plusieurs. Un homme accroché par les rouages d'un moulin peut être instantanément privé d'un membre ou de la vie. Dans ce cas, on présume presque toujours que le cours d'eau qui le fait mouvoir a une force prodigieuse, quand elle se réduit le plus souvent à 50 ou 60 livres; mais cette force agit depuis un certain temps, et la meule pesant environ 2000 livres fait deux tours dans une seconde : ainsi l'effet n'est pas dérivé de lui-même, mais de la puissance accumulée dans la meule qui fait l'office de volant. Les moyens de prévenir les accidens causés par la force des machines, méritent d'être encouragés. On assure qu'en Hanovre on a inventé un moyen de désengrener la meule et le moteur, quand quelque chose se trouve engagé dans les dents des roues; on l'essaya avec la tête

d'un chou, il l'écrasa, mais non violemment, et il n'y auroit pas eu moyen de casser le bras d'un homme.

La résistance que l'air oppose aux corps en mouvement et le frottement des pivots qui supportent l'axe d'un volant, sont autant de déductions qu'il faut faire de la puissance communiquée à l'ensemble de la machine.

Ainsi, au lieu de gagner réellement de la puissance, le volant en demande constamment, pour conserver son mouvement, même quand il n'éprouve pas de résistance. On ne doit jamais, par cette raison, introduire un volant dans une machine, à moins que les avantages qu'on en retire ne soient plus grands que la perte actuelle de force qu'il entraîne. En général, si la puissance est passablement uniforme dans son action, si la résistance est égale, le volant n'est pas nécessaire. Si deux marteaux sont élevés en même temps par une roue à eau, il y a pendant l'intervalle de leur descente une grande perte de force, à moins qu'elle ne soit recueillie par un volant; mais s'il falloit élever successivement deux marteaux ou un plus grand nombre, la résistance deviendroit presqu'aussi uniforme que s'il y avoit un volant, et on n'éprouveroit pas les inconvéniens que celui-ci entraîne.

Pour accumuler la puissance, un volant

doit être construit de manière à présenter le moins de résistance possible à l'air. La forme de roue est la meilleure qu'on puisse lui donner, il doit être de métal et d'un grand poids sous une petite surface ; il sera adouci, rigoureusement circulaire, et sans partie saillante. Si la section transversale du bord est un cercle, et celles des bras qui le réunissent au centre, des ellipses présentant leurs côtés allongés pour diviser l'air, le volant éprouvera moins de résistance.

On fait ordinairement les volans en fer. Quand ils sont trop grands pour qu'on puisse les fondre d'une pièce, on en réunit solidement les parties, car la force centrifuge d'une grande roue animée d'un mouvement rapide, est prodigieuse, et si quelque partie vient à se rompre, les morceaux sont jetés au loin avec une vitesse qui les rend aussi redoutables qu'un boulet de canon.

Supposez un volant employé dans une machine qui sert à élever en une seconde un pilon de 30 livres, à la hauteur d'un pied; ici le poids du volant est un objet principal, et son effet est calculé par rapport au poids à élever. Portons le diamètre à 7 pieds, et supposons qu'il élève le pilon une fois à chaque révolution, nous aurons à considérer quel poids, passant dans une seconde à travers un espace égal à la

6*

circonférence du volant, qui est d'environ 22 pieds, équivaudra à 30 livres passant à travers un pied dans une seconde; ainsi, divisant 30 par 22, on a 1 $^{8}/_{22}$. Un volant de cette espèce sera capable d'élever une fois le pilon après que le mouvement du moteur aura cessé, mais en augmentant le poids du volant, de 10, 12 ou 20 livres, la machine abandonnée à elle-même feroit encore frapper un nombre de coups plus ou moins grand. Le mode de calcul qu'on vient de présenter est également applicable au mouvement des pompes; mais le poids le plus avantageux qu'on puisse donner à un volant n'a jamais été déterminé d'une manière satisfaisante.

Des frottemens.

Nous n'avons pas jusqu'ici, à l'exception de quelques remarques incidentes, parlé des propriétés physiques des matériaux dont on fait les machines, et des modifications qu'elles font subir aux lois qu'établit la théorie. Il falloit dégager celle-ci du retour continuel des mêmes circonstances qui seront mieux entendues si on les étudie isolément: c'est ce qui va nous occuper. Nous allons examiner les causes qui s'opposent à l'action parfaite des machines, et les allocations qu'on fait à cet égard.

Parmi les causes physiques qui occasion-

nent une différence entre la théorie et la pratique, par rapport aux machines, les plus importantes et les plus générales sont : 1° le poids des parties qui composent la machine ; 2° le frottement, terme qui désigne l'obstacle qu'oppose au mouvement d'une machine la résistance de l'air, aussi bien que celui qui est produit par l'action du frottement d'une partie sur l'autre. En suivant les expériences qui établissent la théorie du levier, on a vu que le bras le plus court devoit être aussi pesant que le plus long ; autrement ils n'agiroient pas avec succès. Ceci indique le principe sur lequel doivent être faites les allocations pour le poids d'une machine, et comment cette source d'obstacles peut être arrêtée. Le frottement en est un autre qui ne cesse pas. Il peut être atténué par divers artifices, mais il ne peut jamais être complètement détruit.

Leslie, dans son ouvrage sur la nature et la propagation de la chaleur, recherche avec son habileté ordinaire la cause du frottement. « Si deux surfaces, dit-il, frottant l'une contre l'autre, sont raboteuses et inégales, il y a nécessairement une perte de force qui est occasionnée par la rupture de leurs éminences ; mais le frottement subsiste après que les surfaces sont devenues régulières et aussi unies que possible. Le poli le plus parfait ne

peut produire d'autres changemens que de diminuer la grandeur des aspérités. La surface d'un corps, étant déterminée par sa structure interne, doit être sillonnée, dentelée, etc.

» Le frottement s'explique ordinairement par le principe du plan incliné, d'après l'effort nécessaire pour faire monter un corps grave sur une succession de rugosités. Mais cette explication, quoique fréquemment répétée, est insuffisante. La masse qui est déplacée n'est pas continuellement ascendante; il faut qu'elle s'élève et s'abaisse alternativement, car chaque éminence de la superficie doit avoir une cavité correspondante. Et puisque la limite du contact est supposée horizontale, les élévations et les dépressions seront égales; conséquemment, si la force latérale éprouvoit une diminution perpétuelle en élevant le poids, elle recevroit dans le moment suivant une augmentation égale en le laissant tomber, et ces effets opposés se détruisant l'un l'autre, n'auroient aucune influence sur le mouvement général.

» L'adhésion semble encore moins capable de rendre compte de l'origine du frottement. Une force perpendiculaire qui agit sur un solide ne peut évidemment contribuer à empêcher ses progrès; et quoique cette force latérale due aux inégalités du contact, doive être

sujette à une certaine obliquité irrégulière, les chances doivent se balancer et avoir la même tendance à accélérer qu'à retarder le mouvement. Si donc les surfaces restoient absolument passives, il n'y auroit jamais de frottement. Son existence démontre un changement perpétuel de figures. Les plans opposés cherchent à se plier à toutes les situations qui déterminent ce contact. L'une des surfaces étant pressée contre l'autre, devient compacte par les saillies de quelques points et le retrait des autres. Cet effet n'a pas lieu instantanément, mais suivant la nature des substances, à différentes périodes, pour arriver à son maximum. Dans quelques cas, il suffit de quelques secondes, dans d'autres il faut plusieurs jours. A mesure que la masse poussée avance, la surface change de configuration extérieure, et approche plus ou moins d'une parfaite contiguité avec la surface inférieure. De là l'effort nécessaire pour imprimer le premier mouvement; de là aussi la diminution du frottement qui tend généralement à augmenter, si quelque cause accidentelle ne s'y oppose. Cela est établi par les expériences de Coulomb, les plus originales et les plus décisives qui aient été faites sur cet intéressant sujet. Le *frottement consiste dans la force dépensée pour élever continuel-*

lement la surface de pression, par une action oblique. La surface supérieure marche sur un système perpétuel de plans inclinés; mais ce système est toujours changé avec une inversion alternative. Dans cet acte, le corps tombant fait des efforts continuels, mais vains, pour monter; car dès qu'il a gagné la sommité des éminences de la superficie, il glisse dans les cavités qu'elles laissent entre elles; il se présente une nouvelle série d'obstacles qu'il faut surmonter de nouveau; c'est le Sisyphe renouvelé.

» Le degré du frottement dépend évidemment de la nature des angles des protubérances, qui sont déterminées par la structure élémentaire ou le rapport mutuel des deux substances. Le poli ne fait que raccourcir ces aspérités, en accroître le nombre sans en altérer la courbure ou les inflexions. L'interposition d'une couche d'huile, de savon ou de suif, en s'accommodant aux variations de contact, tend à les égaliser, amoindrir ou adoucir leurs contours, en se logeant dans les cavités, et par ce moyen, diminue le frottement. »

Le frottement d'un simple levier est peu considérable, celui d'un treuil est proportionnel à son poids, à sa vitesse et au diamètre de son axe. Plus celui-ci est petit, moins il y a de frottement.

Les poulies ont beaucoup de frottement, attendu la petitesse de leur diamètre par rapport à celle de leur axe; leur frottement augmente considérablement quand elles touchent contre leur chape, ou que leur axe n'est pas bien cylindrique.

Le frottement des corps est en général proportionnel à leur poids ou à la force avec laquelle les surfaces frottantes se pressent entre elles. Il est la plupart du temps égal à la moitié ou au quart de cette force. Quoique le frottement augmente avec la surface, il ne le fait pas en raison directe. Il augmente aussi, avec quelques exceptions, proportionnellement à la vitesse des corps, surtout quand on emploie sans corps gras des matières différentes.

Selon Emerson, quand un cube de bois tendre, du poids de huit livres, se meut sur une surface plane de bois tendre, à raison de 3 pieds par seconde, son frottement est d'environ le tiers de son poids; si la surface du premier est rugueuse, le frottement est un peu moindre de la moitié, et, si les deux pièces de bois sont très-polies, il n'est qu'environ le quart du poids. Le frottement d'un bois doux sur un bois dur, ou d'un bois dur sur un bois doux, est d'un cinquième à un sixième de cette quantité. Celui de bois dur sur bois dur

est d'un septième à un huitième ; celui de l'acier poli sur l'acier poli, d'un quart, et sur du cuivre ou du plomb, d'un cinquième.

On avoit supposé, dans le cas du bois, que le frottement étoit le plus grand, quand les corps étoient tirés en sens contraire à leurs fibres ; mais les expériences de Coulomb ont démontré le contraire.

Plus les surfaces restent en contact, plus le frottement est considérable. Quand du bois est mu sur du bois, selon la direction de ses fibres, il augmente si on tient les surfaces en contact pendant quelques secondes, et paroît atteindre son maximum au bout d'une minute; mais si le mouvement est donné en sens contraire, il faut plus de temps pour que le frottement arrive à ce point. Quand le bois est mu sur métal, le frottement n'atteint son maximum que par un contact prolongé 4 ou 5 jours ; si sa surface est frottée de suif, il faut plus de temps pour produire cet effet.

L'augmentation de frottement due à la prolongation du contact est si grande, qu'un corps du poids de 1650 livres et qui étoit mis de suite en mouvement sur une surface correspondante, par une force de 64 livres, exigeoit au bout de trois secondes 160 livres pour le mettre en mouvement, et demandoit après six jours 622 livres. Lorsque les surfaces

des corps métalliques sont mues l'une sur l'autre, le temps qu'exige le frottement pour atteindre son maximum ne change pas par l'interposition de l'huile d'olive; il en faut davantage quand on emploie la graisse de porc, et encore 5 à 6 jours et plus quand c'est du suif.

Quand le bois roule sur le bois, l'huile, la graisse ou la plombagine, diminuent le frottement d'un tiers. Le moyeu d'une roue graissée n'a que le quart du frottement qu'elle auroit si elle ne l'étoit pas. Quand l'acier poli se meut sur l'acier, le frottement est d'environ un quart du poids; sur le cuivre ou le plomb, d'un cinquième ; sur le cuivre jaune, d'un sixième ; le frottement des métaux est plus considérable quand il s'exerce sur des métaux de même espèce que sur des métaux différens ; ce qui paroît dû à la force supérieure de l'attraction de cohésion entre les métaux similaires. Ainsi, il faut toujours faire les parties des machines qui frottent l'une sur l'autre, de différens matériaux; dans les montres et les pendules, les roues sont de cuivre et les pignons d'acier; les pivots de fer agissent sur des coussinets de cuivre jaune ou de métal de cloche. Les axes des roues doivent être aussi petits que le permet le poids qu'ils ont à supporter, parce que la diminution des surfaces en contact diminue le frottement.

D'après les expériences de Vince, qui ont été faites et répétées avec soin, le frottement des corps *durs* en mouvement est une force uniformément retardative. On a fait aussi des expériences pour déterminer si la même loi régissoit les corps recouverts avec des étoffes, de la laine, et on a trouvé que dans tous les cas la force retardative augmentoit avec la vitesse; mais en couvrant les corps avec du papier, les résultats s'accordoient avec ceux que nous avons donnés plus haut. Le même savant s'est assuré par d'autres expériences, et contre l'opinion reçue, que la quantité de frottement augmente dans un rapport moindre que le poids du corps, et que la plus petite surface éprouve le moins de frottemens. Il peut être nécessaire de décrire l'appareil avec lequel ces résultats ont été obtenus. On ajuste un plan parallèlement à l'horizon; on place à l'extrémité une poulie qui peut être élevée ou abaissée, pour rendre la corde qu'elle fait mouvoir parallèle au plan. On place une échelle divisée près de la poulie, et perpendiculairement à l'horizon; la force motrice descend le long de cette échelle. Un indicateur mobile dont elle est armée marque l'espace parcouru par le poids moteur dans un temps donné, qui est mesuré par un pendule à secondes.

Suivant les expériences de Coulomb, qui furent faites sur une grande échelle, et auxquelles on peut par conséquent prendre confiance, le frottement de cylindres de gaïac, de deux pouces de diamètre, et chargés de 1000 livres, étoit de 18 livres, ou presque 1/56 du poids ou de la force de pression. Dans des cylindres d'orme le frottement fut plus grand de 2/5, et fut à peine diminué par l'interposition du suif. Une suite d'expériences sur les axes des poulies donna les résultats suivans : quand un axe de fer tourne dans un coussinet de cuivre jaune, le frottement est de 1/6 de la pression ; mais quand ce coussinet étoit graissé avec du suif, le frottement n'étoit plus que de 1/11, avec la graisse de porc 1/8, avec de l'huile d'olive 1/7. Un axe de chêne vert, tournant sur du gaïac, donnoit un frottement de 1/26 quand on interposoit du suif. Si on faisoit disparoître celui-ci, qu'il n'en restât plus que pour couvrir la surface, le frottement alloit à un 1/17. Quand le coussinet étoit en orme, le frottement étoit dans des circonstances semblables de 1/33 et de 1/40. Ceci étoit le minimum. Avec un axe en buis et des coussinets en gaïac, il étoit de 1/23 et de 1/14. Avec l'axe en buis et les coussinets en orme, de 1/29 et de 1/20 ; si enfin l'axe étoit de fer et les coussinets

d'orme, il étoit de 1/20 de la force de pression.

On ne tient jamais compte des frottemens quand on calcule la force d'une machine. Quoiqu'ils varient avec les circonférences, au point de ne pouvoir être assujétis à des règles certaines, les détails que nous venons de donner suffiront pour mettre le mécanicien à même d'approcher de la vérité, de reconnoître quelle en est l'intensité dans chaque partie de la machine, suivant la pression, la surface et les matériaux dont elle est composée; et en allant de la puissance à la résistance, il déduira les frottemens d'après la force qu'elle doit avoir. La somme des frottemens dont on vient de parler ne s'applique qu'aux machines qui sont bien faites; la perte de la puissance qui est occasionnée par un mauvais travail est incalculable, et comme la mauvaise exécution peut rester inaperçue, on ne doit pas se livrer à un calcul conjectural lorsqu'on peut évaluer la perte réelle de la puissance par expérience.

Une règle générale pour prévenir le frottement est de substituer, autant que possible, le roulage au glissement. On sait, en effet, qu'un poids que ne peut traîner une force donnée obéit facilement à la même force si on le monte sur des roues. C'est sur ce principe qu'est fondée l'utilité de ce qu'on appelle

rouleaux de frottement, qui sont de petits cylindres ou sphères, interposés de manière à rouler entre les surfaces qui, sans cela, porteroient les unes sur les autres, ou de petites roues, disposées de manière que les axes des plus grandes roulent sur leur circonférence, au lieu de tourner sur des coussinets. Trois roues, si elles touchent les différens côtés d'un pivot en trois points également distans l'un de l'autre, le supporteront comme un coussinet cylindrique qui donneroit un plus grand frottement. Quand le mouvement auquel ces rouleaux ou ces roues sont sujets est égal et tranquille, leur usage procure des avantages permanens ; mais quand ils sont exposés à recevoir des secousses, à supporter de grands fardeaux, comme les moyeux des roues, ce moyen, quoique excellent en principe, est rarement utile dans la pratique; souvent même il est nuisible, car ni eux, ni beaucoup des parties qui portent sur eux, ne reçoivent de l'ouvrier toute la précision qu'ils doivent avoir, ou, s'ils sont bien faits, ils agissent si inégalement, qu'ils ont bientôt perdu l'exactitude qui faisoit leur prix.

De l'application aux machines des hommes et des chevaux employés comme moteurs.

Un homme tournant un cabestan horizontal, à l'aide d'une poignée ou d'une manivelle, ne peut exercer une force de plus de 30 livres, s'il doit travailler dix heures par jour; ainsi, la force nécessaire pour vaincre le frottement, la roideur des cordes et l'intensité de la résistance, ne doit pas surpasser 30 livres.

Quand un homme tourne une manivelle, sa force varie dans chaque partie du cercle que la première décrit. La plus grande a lieu, quand il tire la manivelle de la hauteur de ses genoux pour la porter au-dessus; et la moindre, quand le manche est arrivé au sommet et qu'il le pousse loin de lui. L'effet est ensuite augmenté lorsqu'il appuie du poids de son corps et le chasse de haut en bas; mais l'action n'est pas si grande que quand il tire, lui, parce qu'elle n'est produite que par le poids de son corps, tandis qu'en le ramenant il déploie toute sa force : en poussant le manche horizontalement, quand il est au point le plus bas, la force développée est très-foible.

Un homme de moyenne force peut peser

environ 140 livres et déployer les forces suivantes : dans le point le plus fort, ou dans celui où la position de la manivelle lui est le plus favorable, 160 liv. ; dans la plus foible, 27 liv. ; dans le second point avantageux, 130 livres, et dans le dernier ou second point foible, 30 livres. La somme de ces forces est de 347 qui, divisés par 4, donnent 84 3/4 livres pour le poids qu'un homme peut soulever à l'aide d'une manivelle, s'il exerce continuellement toute sa force et ne s'arrête pas pour reprendre haleine ; mais cela étant impossible, le poids doit l'entraîner au premier point foible, surtout quand le manche se meut lentement, comme il doit le faire pour produire le plus d'effet possible. Pour vaincre une telle résistance, on a supposé toujours en théorie que l'homme agit le long de la tangente du cercle de mouvement, application de force qui n'est pas praticable. Il doit y avoir aussi une vitesse donnée, telle que la force appliquée au point le plus fort ne soit pas dépensée avant d'arriver au point le plus foible, régularité impossible. Ces avantages illusoires écartés, la résistance ne doit pas être de plus de 30 livres. Si un volant est ajouté au cabestan, quand le mouvement est d'environ 4 ou 5 pieds par seconde, un homme peut déployer, pendant un temps court, une force de 80 livres, et

travailler un jour entier contre une résistance de 40 livres.

Si le vindas porte deux manivelles, une à chaque extrémité, et que leurs coudes soient à angle droit entre eux, deux hommes agiront plus facilement, pendant le même temps, contre une résistance constante de 70 livres, qu'un homme seul contre une de 30. L'un agit au point le plus fort, pendant que l'autre agit au point le plus foible de la révolution, et ils s'aident mutuellement. L'utilité de cette disposition des manivelles est aujourd'hui connue et appréciée partout.

Tout l'art de porter de grands fardeaux consiste à tenir le corps aussi directement et aussi droit que possible sous le poids. Un homme, dans sa position naturelle, peut porter un fardeau qui casseroit les reins des plus forts chevaux. Cela doit être: la colonne osseuse de l'homme est chargée verticalement, tandis que celle du cheval est en travers. Plus un homme se courbe, moins grand est le fardeau qu'il est à même de supporter; aussi deux hommes qui prennent une charge peuvent soutenir beaucoup plus du double de ce qu'ils seroient en état de porter séparément, parce qu'ils peuvent se mouvoir plus droit. Des porteurs de chaise, ayant attaché à leurs épaules les brancards de la chaise, marche-

ront avec 300 livres ou 150 livres chaque, et feront 4 milles à l'heure ; un porteur portera sur ses épaules 180 livres, et fera 3 milles à l'heure ; un portefaix se chargera de 250 livres, mais n'ira qu'à une courte distance avec son fardeau. Les hommes qui rament exercent leurs forces avec le plus grand effet ; ils tirent plus ordinairement la rame à eux qu'ils ne la poussent loin d'eux, parce que, dans le premier cas, ils peuvent mettre en action un plus grand nombre de muscles, et l'expérience leur apprend bientôt que c'est la meilleure méthode.

Un cheval tire avec le plus grand avantage possible quand la ligne de tirage n'est pas de niveau avec sa poitrine, mais donne un peu plus haut, en faisant un petit angle avec le plan horizontal.

Un cheval, tirant un poids sur une simple poulie, peut déployer une force de 200 livres, en marchant 2 milles et demi par heure, ou environ 3 pieds et demi par seconde ; si le même cheval tire 240 livres, il ne peut travailler que six heures par jour, et ne marche pas si vite. Ce principe est applicable au travail des chevaux dans toutes sortes de manéges, pour calculer leur effet probable, après en avoir déduit tous les frottemens, et

leur avoir assigné la tâche qu'ils peuvent remplir sans les excéder.

La force avec laquelle un cheval agit se compose de son poids et de sa force musculaire. De deux chevaux inégaux en force et en poids, celui qui est le plus foible vaincra une résistance que le plus fort ne pourroit vaincre ; pourvu que l'excès de son poids excède tant soit peu son manque de force.

Quand un cheval travaille dans un manége, il faut avoir soin que son chemin ou le cercle qu'il parcourt soit d'un diamètre assez grand ; autrement, il ne peut déployer toute sa force ; car, dans un petit cercle, la tangente suivant laquelle il tire dévie plus du cercle dans lequel il est obligé de marcher que dans un plus grand. Le diamètre de ce cercle n'aura jamais, s'il est possible, moins de 40 pieds. On a calculé que dans un cercle de 19 le cheval perd les deux cinquièmes de sa force.

C'est en gravissant une montagne que le cheval exerce sa force avec le plus de désavantage. La forme humaine est tellement supérieure à celle du cheval pour grimper, que si la montagne est rapide, trois hommes feront plus qu'un de ces animaux. Un homme, chargé de 100 livres, marchera plus loin qu'un cheval qui en porte 300 ; mais un cheval peut mettre en mouvement un levier ho-

rizontal dans un manége de 40 pieds avec beaucoup plus d'aisance que ne feroient cinq hommes. Dans un manége de 19 pieds, trois hommes équivalent à un cheval.

Des moulins.

Le terme de moulin signifioit originairement une machine pour écraser le blé; mais maintenant cette expression est fréquemment appliquée à toutes espèces de machines où on emploie de grandes roues.

Les moulins se divisent en plusieurs espèces, selon leurs usages et les forces qui les mettent en mouvement. Ainsi, nous avons des moulins à eau, des moulins à vent, des moulins à manége, à blé, à foulon, à poudre, à forer, à scier, etc. Ces dénominations vagues suffisent à la conversation, mais on ne désigne complètement un moulin qu'autant qu'on indique son usage et sa force motrice.

Dans les temps anciens, le blé étoit moulu par des moulins à bras, qui se composoient de deux pierres semblables aux meules des moulins à eau, mais beaucoup plus petites; l'inférieure étoit fixe, et la supérieure portoit une pièce de bois avec laquelle on la faisoit tourner. Ces machines sont encore employées dans l'Inde et dans quelques parties de l'Écosse; mais, en général, quand on a de

grandes quantités de grain à moudre, on ne se sert plus de moulins à bras.

En traitant des moulins à eau, qui sont le principal objet dont il s'agit ici, nous aurons occasion d'indiquer la meilleure méthode de faire les dents des roues et autres particularités applicables aux machines en général. Nous finirons par une description des formes les plus simples des moulins à eau.

Dans ces moulins, il y a trois moyens d'appliquer l'eau à la grande roue : 1° l'eau tombe en faisant un angle droit avec les palettes dont la roue est garnie ; 2° l'eau est versée sur la partie supérieure, et reçue dans des augets disposés autour de la roue ; 3° c'est le moyen qui est employé quand on n'a pas une chute, mais un cours d'eau d'un grand volume : le courant frappe les vannes à la partie la plus basse de la roue.

Smeaton pensoit que la puissance nécessaire pour produire le même effet, suivant ces trois modes, étoit dans le même rapport que les nombres 2.4, 1.75, et 1.

L'effet ou moment de l'eau dépendant à la fois de sa vitesse et de sa quantité, il est important de les connoître l'une et l'autre. Desaguliers en a donné le moyen ; voici en quoi il consiste : on choisit une place où les bords de la rivière soient droits et presque parallèles,

et formant une espèce d'auge à travers de laquelle coule l'eau. On prend la profondeur dans diverses parties de la largeur du courant; on obtient une section exacte de la rivière. On tire sur elle deux lignes ; l'une à angle droit, et l'autre à une petite distance au-dessus et au-dessous, et parallèle à la première. Alors jetez quelque corps flottant (comme une pomme, que le vent n'affecte pas) immédiatement au-dessus de la ligne supérieure. Observez le temps qu'elle met à passer de l'une à l'autre; vous reconnoîtrez ainsi combien de pieds le courant parcourt dans une seconde ou une minute. Ayant les deux sections, c'est-à-dire une à chaque ligne, réduisez-les à une profondeur moyenne, et supputez l'aire de la section moyenne qui, multipliée par la distance qui sépare les lignes, donnera le volume du fluide qui passe d'une ligne à l'autre dans un temps déterminé. Maintenant, appliquant la règle de trois à la portion de temps observée, la question sera : si la vitesse est telle dans une aire ou un canal connu, quelle sera la vitesse dans un autre moins grand ? Il est évident que si l'aire donne 12 pieds cubes, et si l'eau coule avec une vitesse de 4 pieds par seconde à travers un conduit d'un pied carré, la vitesse seroit, si le conduit n'avoit que 6 pouces carrés, comme 16 à 4, ou quadruple.

L'arche d'un pont est souvent une excellente station pour observer la force d'un courant, parce que les bords sont réguliers, et que l'espace intermédiaire peut être exactement mesuré ; mais il n'est pas toujours facile de les reconnoître sans bateau ou deux aides intelligens et exacts dans leurs observations. On suppose dans tout ceci que la vitesse du courant n'est pas accélérée par le rétrécissement du lit de la rivière.

RÈGLES - PRATIQUES ET OBSERVATIONS RELATIVES A LA CONSTRUCTION DES MOULINS A EAU.

1°. Mesurez la hauteur perpendiculaire de la chute d'eau, en pieds, au-dessus de la partie de la roue sur laquelle l'eau commence à agir, et appelez cela la hauteur de la chute.

2°. Multipliez ce nombre constant 64.2822 par la hauteur de la chute en pieds, et la racine carrée du produit sera la vitesse de l'eau au bas de la chute, ou le nombre de pieds que l'eau parcourt par seconde.

3°. Divisez la vitesse de l'eau par trois, et le quotient sera la vitesse des vannes de la roue, ou le nombre de pieds qu'elles doivent parcourir dans une seconde, quand l'eau agit sur elles de manière à avoir la plus grande puissance pour tourner la roue.

4°. Divisez la circonférence de la roue, en

pieds, par la vitesse de ses vannes, en pieds, par seconde, et le quotient sera le nombre de secondes en lesquelles la roue fera sa révolution.

5°. Divisez 60 par ce dernier nombre de secondes, et le quotient sera le nombre de tours de roue dans une minute.

6°. Divisez 120 (nombre des révolutions d'une meule de 4 pieds et demi de diamètre qui doivent se faire par minute) par le nombre de tours de la roue dans une minute, et le quotient sera le nombre de tours que la meule doit faire pour un tour de la roue.

7°. Ainsi, comme le nombre des tours d'une roue dans une minute est au nombre de ceux de la meule dans le même temps, ainsi le nombre des fuseaux dans la lanterne sera, à celui des dents de la roue, dans le moindre nombre qu'on puisse trouver.

Par ces règles on a calculé la table suivante, relative à une roue à eau de 18 pieds de diamètre, grandeur qui a été reconnue la plus avantageuse dans l'usage général.

TABLE

POUR LA CONSTRUCTION DES MOULINS.

Hauteur de la chute d'eau.	Vitesse de la chute d'eau par seconde.	Vitesse de la roue par seconde.	Révolutions de la roue par minute.	Révolutions de la meule pour une de la roue.	Dents de la roue et fuseaux dans la lanterne.		Révolutions de la meule par minute, par ces fuseaux et dents.
	100e du pied.	100e du pied.	100e d'une rév.	100e d'une rév.			100e d'une rév.
Pieds.	Pieds.	Pieds.	Révolutions.	Révolutions.	Dents.	Fuseaux.	Révolutions.
1	8, 02	2, 67	2, 83	42, 40	254	6	119, 84
2	11, 34	3, 78	4, 00	30, 00	210	7	120, 00
3	13, 89	4, 63	4, 91	24, 44	196	8	120, 28
4	16, 04	5, 35	5, 67	21, 16	190	9	119, 74
5	17, 93	5, 98	6, 34	18, 92	170	9	119, 68
6	19, 64	6, 55	6, 94	17, 28	156	9	120, 20
7	21, 21	7, 07	7, 50	16, 00	144	9	120, 00
8	22, 68	7, 56	8, 02	14, 96	134	9	119, 34
9	24, 05	8, 02	8, 51	14, 10	140	10	119, 14
10	25, 35	8, 45	8, 97	13, 38	134	10	120, 18
11	26, 59	8, 86	9, 40	12, 76	128	10	120, 32
12	27, 77	9, 26	9, 82	12, 22	122	10	119, 80
13	28, 91	9, 64	10, 22	11, 74	118	10	120, 36
14	30, 00	10, 00	10, 60	11, 32	112	10	118, 72
15	31, 05	10, 35	10, 99	10, 98	110	10	120, 96
16	32, 07	10, 09	11, 34	10, 58	106	10	120, 20
17	33, 06	11, 02	11, 70	10, 26	102	10	119, 34
18	34, 02	11, 34	12, 02	9, 98	100	10	120, 20
19	34, 95	11, 65	12, 37	9, 70	98	10	121, 22
20	35, 86	11, 95	12, 68	9, 46	94	10	119, 18
1	2	3	4	5	6		7

Pour construire un moulin avec cette table, cherchez la hauteur de la chute d'eau dans la 1re colonne, et, pour cette hauteur, la 6e colonne donne le nombre de dents que doit avoir la roue et celui des fuseaux dans la lanterne, pour qu'une meule de 4 pieds et demi de diamètre fasse 120 tours dans une minute, quand la circonférence de la roue se meut avec le tiers de la vitesse du courant. On voit ensuite, dans la 7e colonne, que le nombre de dents de la roue, et celui des fuseaux de la lanterne nécessaires pour produire cet effet, est capable de donner à la meule 118 révolutions au moins dans une minute, et que le plus grand nombre de révolutions n'excède pas 121, qui est la vitesse de quelques uns des meilleurs moulins.

Il faut observer que la largeur de la roue à eau doit correspondre avec la puissance nécessaire pour produire l'effet désiré. On suppose, d'ailleurs, qu'on a à sa disposition un volume d'eau convenable ; car une roue de 2 pieds de largeur aura une puissance plus que double de celle d'un pied, parce que le volume de l'eau qui agit sur elle est double, tandis que le frottement des axes n'est pas, à beaucoup près, doublé comme la largeur.

Pour calculer avec précision les effets d'une roue à eau, il est nécessaire de connoître, 1° la vitesse réelle de l'eau qui agit sur la roue ;

2° la quantité d'eau dépensée dans un temps donné; et 3° combien il se perd de puissance par le frottement. Smeaton a trouvé, par une foule d'expériences, que la puissance moyenne d'un volume d'eau de 15 pouces de hauteur, donne 8,96 pieds de vitesse par minute à la roue sur laquelle il frappe. Le calcul de la force nécessaire pour produire cet effet, avec une chute d'eau de 105,8 pouces, donne 264,7 livres d'eau tombant de 15 pouces en une minute. Ainsi, 264,7 multiplié par 15, égale 397,05. Mais, comme cette puissance n'élevoit que 9,375 livres à la hauteur de 135 pouces, il est évident qu'il y en avoit la majeure partie de perdue, car le produit de ces deux sommes ne monte qu'à 1,266; donc le frottement étoit égal aux trois quarts de la force. Cet ingénieur détermine ainsi le maximum du simple effet de l'eau sur une roue dont la chute étoit de 15 pouces. Le reste de la puissance doit être égal à celui de la vitesse de la roue elle-même, multiplié par le poids de l'eau, qui, dans ce cas, établit que le véritable rapport entre la puissance et l'effet, est celui des nombres 3,849 et 1,266 ou de 11 à 4.

Les aubes de la roue doivent être plutôt nombreuses que rares. Smeaton a trouvé que, en réduisant celles d'une roue qui reçoit l'eau en dessous, de 24 à 12, l'effet étoit réduit de

moitié; que quand il eut ajouté un coursier circulaire d'une longueur telle que, lorsque une aube le quittoit, une autre entroit, il trouva que le premier effet étoit presque rétabli. Ce mode s'applique plus particulièrement aux roues qui reçoivent l'eau immédiatement au-dessous du niveau de l'axe. Dans celles-ci, le coursier circulaire est nécessaire pour qu'elle produise tout son effet par la combinaison de la vitesse et du poids. Dans les roues de cette espèce, l'aube remplira l'espace du coursier de manière à toucher presque aux deux côtés et au fond, afin que l'eau les accompagne dans toute leur course depuis la chute jusqu'à la partie la plus basse de la roue, d'où elle s'échappe avec une vitesse suffisante pour que celle qui la remplace ne soit pas retardée. Une quantité d'eau restant au fond du coursier, tend à s'opposer au mouvement avec une force qui est proportionnelle à la disposition du fluide à devenir stationnaire. On a trouvé un très-grand avantage à incliner les aubes dans les rayons de la roue, et à les placer chacune de manière que, quand elles sont arrivées au point le plus bas, elles ne soient pas verticales, mais qu'elles aient leur bord tourné vers le courant d'environ 20 degrés.

La roue à pots, ou celle qui reçoit l'eau par-

dessus, est la plus puissante, parce qu'elle reçoit l'eau au commencement de sa chute, et que les pots ou auges qui sont à l'entour, retiennent la puissance assez long-temps pour que l'eau soit graduellement rejetée à mesure que les pots arrivent à la partie inférieure de la circonférence de la roue. On doit observer ici qu'on obtient plus d'effet en laissant couler doucement l'eau dans les auges supérieures de la roue; attendu que c'est une immense force auxiliaire qui se développe à mesure qu'elles se remplissent successivement. Ajoutez à cela la découverte de Smeaton, « que plus un corps descend lentement en vertu de la force de gravité pendant qu'il agit sur une pièce de la machine, plus l'effet qu'il produit est grand. » Cet effet n'est en aucune manière augmenté proportionnellement à la rapidité du mouvement de de la roue; au contraire, Smeaton a trouvé que le plus grand effet avoit lieu quand la roue avec laquelle il faisoit ses expériences, et qui avoit 2 pieds de diamètre, faisoit 20 révolutions par minute; quand elle n'en faisoit que 18 et demie, il étoit irrégulier, et quand elle en faisoit moins, le poids la faisoit rétrograder. Il a trouvé que 30 tours par minute occasionnoient une perte d'un vingtième, et que, si le mouvement étoit plus vif, la di-

minution de l'effet étoit presque d'un quart de la puissance. Cette perte peut aisément s'estimer sur une roue de plus grande dimension, en calculant la quantité de puissance perdue par suite d'une vitesse plus grande que celle qui est nécessaire pour charger la roue par le remplissage seulement des auges; en observant que les progrès d'une machine peuvent être retardés, quoiqu'elle conserve son mouvement. Les machines, pour bien travailler, doivent avoir une certaine vitesse qu'il faut atteindre, mais non dépasser. On sait que, si une charrue est tirée d'un pas convenable, elle coupe le sol régulièrement et librement, et, si on la fait marcher plus lentement, elle donne plus de fatigue et fait moins d'ouvrage, et moins bien.

Une roue à vannes, bien faite, donnera un effet égal à la moitié ou même aux 3 cinquièmes de la puissance, tandis que la roue à pot en donnera un qui sera les 4 cinquièmes; mais, en général, celle-ci ne donne, en raison des frottemens et des imperfections de construction, que la moitié environ : l'effet de l'autre se trouve réduit proportionnellement et par les mêmes causes.

Quand le courant produit trop d'eau pour les besoins de l'usine, la surabondance est évacuée par des écluses ou des déversoirs cons-

truits pour cet effet. Quand on veut augmenter la vitesse du courant, on rétrécit le lit de la rivière. On peut aussi augmenter beaucoup la puissance en élevant la chute, ou le point d'où l'eau tombe sur la roue.

Dans les lieux où l'eau est tantôt trop abondante, tantôt trop foible, on fait un réservoir d'une grandeur convenable, où on recueille les eaux dans les temps qu'elles sont abondantes, pour s'en servir dans ceux où elles sont rares. Dans quelques cas, la dépense de ce réservoir peut excéder les avantages qu'il produit; mais dans d'autres il est fort utile, car il n'est pas besoin qu'il soit près du moulin : on peut le placer dans un endroit quelconque vers les bords du courant, où les terres sont situées avantageusement et bon marché.

On a essayé de construire des roues à eau qui reçoivent obliquement l'impulsion, comme les voiles d'un moulin à vent. Une rivière dont le cours est lent, mais profond, peut, de cette manière, quoique avec une perte de force considérable, être employée à faire mouvoir des moulins. Le docteur Robinson en décrit un qui est très-puissant; c'est une hélice de 4 pieds de diamètre, formée par des planches placées obliquement sur un axe, et disposées pour former une vis comme celle d'un tire-bouchon, enveloppée d'un cylindre creux,

dans lequel il se meut sur ses deux axes. Il plonge dans l'eau d'environ un quart de son diamètre, qui est de 12 pieds, et a son axe dans la direction du courant. Cette machine semble plus puissante qu'une roue commune, qui occuperoit la même largeur de la rivière. La longueur de cette hélice étoit de 20 pieds, et, si elle avoit eu deux fois cette longueur, elle auroit doublé sa puissance, sans occuper plus de place dans la rivière. Peut-être cette spirale, prolongée jusqu'à l'axe et placée dans un canal convenable, servira-t-elle à tirer parti d'un cours profond et lent.

Emerson observe que les dents d'une roue ne doivent pas agir sur d'autres avant qu'elles arrivent à la ligne qui joint leur centre; et, quoique les côtés intérieurs ou inférieurs puissent être d'une forme quelconque, il vaut mieux qu'ils soient semblables, pour qu'on puisse leur imprimer un mouvement rétrograde, s'il en est besoin. Nous avons déjà parlé de l'avantage qu'il y a de faire les dents aussi petites qu'il est possible, afin qu'il y en ait un plus grand nombre qui puissent être en contact à la fois; il faut aussi avoir le plus grand soin de les disposer régulièrement, pour qu'elles ne s'entre-choquent pas.

Il est de la plus grande importance que la forme des dents soit telle, que la force avec

laquelle l'une d'elles pousse les autres autour de leur axe, soit constamment la même. Il n'en est pas ainsi quand celles d'une roue de manége qui agissent sur les fuseaux cylindriques d'une lanterne sont usées. Les bouts des dents ne doivent jamais être formés de parties d'un cercle, à moins qu'ils n'agissent sur d'autres dents spécialement adaptées sur elles, comme nous l'expliquerons plus loin.

Les roues et les pignons des meilleures montres et pendules sont faits avec une précision mathématique; mais, en traitant de la vis sans fin, nous avons eu occasion de remarquer qu'il est très-difficile de donner aux grandes roues de métal ou de bois la justesse de formes désirable. Aussi, une lanterne divise rarement la roue assez exactement pour lui faire faire, sans fraction, un nombre donné de révolutions, pour une de la roue. Mais, comme un nombre exact n'est pas d'une absolue nécessité dans les moulins, et qu'il n'est pas possible de mettre entre les dents de bois des intervalles précisément égaux, les bons constructeurs donnent à la grande roue une dent de plus qu'il n'est nécessaire pour opérer sa division exacte pour le nombre de tours de la lanterne. Par ce moyen, chaque dent qui vient la première en contact avec la lanterne, n'est plus que la seconde dans la révolution

suivante; ainsi, toutes les dents toucheront successivement tous les fuseaux, et, au bout de quelque temps, elles auront toutes porté également dans tous les points, ce qui égalisera les distances de l'une à l'autre.

Constructions des roues.

Pour établir une roue de manége qui fasse mouvoir une lanterne, tirez les lignes ponctuées A1, B1, A2, B2, *fig.* 1, *pl. IV;* divisez-les en nombre de dents nécessaires, comme *a, b, c;* divisez l'une de ces distances comme *bc*, en 7 parties égales, par les points 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; prenez 3 de ces parties pour l'épaisseur de la dent, comme 1, 2, 3, dans la dent *a*, et 4 pour le diamètre du fuseau de la lanterne, comme 1, 2, 3, 4, dans le fuseau *m*, *fig.* 2: 3 parties sont destinées pour la dent, et 4 pour le fuseau, parce que la lanterne est supposée être d'un moindre diamètre que la roue, et par conséquent obligée de porter davantage, en proportion du nombre de dents qui excèdent celui des fuseaux; mais, lorsque les nombres des dents et des fuseaux sont les mêmes, on doit les faire de même épaisseur. La hauteur de la dent est égale à 4 parties; divisez cette hauteur en 5 parties égales, comm 1, 2, 3, 4, 5, dans la dent *c;* prenez-en 3 pour la distance du fond à la ligne des con-

tacts des dents, et 2 parties pour la courbe, qu'on doit leur donner pour qu'elles portent également sur le fuseau.

Dans la pratique, les constructeurs de moulins mettent la pointe d'un compas dans le point 3 de la dent *a*, pour décrire l'arc *df*, après, ils portent la pointe du compas sur le point *d*, et tracent l'arc 3*e*; par ce moyen, ils obtiennent une courbe qu'ils considèrent suffisamment propre pour cet objet.

Pour une roue de face, on se sert de la méthode suivante : Divisez la ligne des contacts AB, *fig.* 2, par le nombre de dents demandé, aux points *a*, *b*, *c*; divisez la distance *bc* en 7 parties égales; 3 de ces parties sont pour l'épaisseur de la dent, comme 1, 2, 3, dans la dent *a*, 4 pour la hauteur, 4 pour la largeur, comme *de*, et 4 pour l'épaisseur du fuseau *m*. Tirez une ligne à travers le centre de la dent, comme la ligne A1 à S; et, sur le point 5, décrivez l'arc *de*; portez le compas au point A, et tracez la ligne *fg*, qui donne la figure de la dent.

Pour les pignons ordinaires, divisez la ligne ponctuée A, *fig.* 3, en parties égales, double du nombre de dents, comme *a*, *b*, *c*, *d*, *e*; avec un compas ouvert de la moitié de la distance de ces divisions, des points *a*1, *c*3, *e*5, décrivez les demi-cercles *a*, *c* et *e*, qui formeront

les bouts des dents; des points 2, 4 et 6, tracez les demi-cercles *g, h, i*, qui formeront les parties inférieures des espaces. Quoique les pignons communs soient faits de cette manière, il faut se ressouvenir que, dans les bons ouvrages, les bouts des dents ne doivent pas être demi-circulaires, à moins qu'ils ne soient en contact avec des dents qui seroient en rapport, comme nous l'avons déjà dit.

Des roues d'angle.

Les roues de cette classe sont des cônes ou des portions de cônes tronqués roulant sur la surface l'un de l'autre. Supposez les cônes A et B, tournant sur leurs axes *ap*, *ac*, *fig.* 4, *pl. IV;* si leurs bases sont égales, ils feront leurs révolutions dans des temps égaux, et conséquemment chaque deux points, également distans du sommet *a* de A, comme *ab*, *ac*, *ad*, *ae*, tournera dans le même temps que *af*, *ag*, *ah*, *ai*. De même, si l'un des cônes, comme dans la *fig.* 5, a deux fois le diamètre de l'autre à la base, et s'ils tournent sur leurs axes, la base du plus grand fera une révolution, pendant que celle du plus petit en fera deux, et toutes les parties correspondantes des surfaces coniques observeront la même proportion; c'est-à-dire que *ab*, *ac*, *ad*, *ae*, tourneront une fois pendant que

af, ag, ah, ai, le feront deux fois. Ainsi, le nombre des révolutions de tous les cônes tournant de cette manière doit être comme leur diamètre respectif. Maintenant, coupons des dents dans deux cônes, comme on le voit représenté *fig.* 6, ils deviendront des roues d'angle; les dents d'un cône entier seront plus larges à la base, d'où elles diminueront avec la circonférence du cône jusqu'à ce qu'elles arrivent à la pointe du centre *a;* mais une telle étendue de dents n'est pas nécessaire; car, si les cônes étoient entiers, leurs sommets *aa* se gêneroient l'un l'autre : on coupe donc les parties inutiles des dents, comme en EF. Ainsi, la roue d'angle est composée de roues faites d'abord en forme de cônes tronqués, comme on le voit *fig.* 7; l'axe perpendiculaire AB, portant la roue d'angle CD, engrène l'autre, qui a son axe en GH, et leurs dents roulent librement l'une dans l'autre. On peut faire ces dents de toutes dimensions, suivant la force nécessaire. Par la méthode des roues d'angle on peut vaincre une plus grande résistance, et le travail se fait plus doucement que par une roue de face et une lanterne.

Pour changer la direction du mouvement et proportionner les roues au besoin, on se sert du mode suivant : La ligne *ab, fig.* 8,

représente l'axe d'une roue ; tirez la ligne *cd*, coupant la ligne *ab* dans la direction à donner au mouvement changé, cette ligne *cd* représentera l'axe de la roue d'angle qui recevra le mouvement. Supposez que l'axe *cd* doive tourner trois fois pendant celui *ab* une fois ; tracez la ligne parallèle *ii* à la distance d'un pied prise sur une échelle quelconque ; tracez la parallèle *kk* à 3 pieds de distance, ensuite tirez la ligne ponctuée *wx* joignant les intersections des axes *ab* et *cd*, et des lignes parallèles *ii* et *kk*; aux points *x* et *y*, ce sera la ligne de contact dans laquelle les deux roues agiront l'une sur l'autre, comme le montre la *fig.* 9, par laquelle on peut voir comment le mouvement peut être conduit dans toutes les directions.

Du joint universel de Hooke.

L'invention qui est appelée joint universel, et qui est due au docteur Hooke, peut être employée au lieu de la roue d'angle, pour communiquer le mouvement, quand la vitesse n'est pas changée, et que les angles n'excèdent pas 30 ou 40 degrés. Ce joint peut être construit comme on le voit *fig.* 10, ou avec quatre pivots fixés à angle droit sur la circonférence d'un cercle ou d'une sphère solide. Il est utile pour les machines à filer le

çoton, où les axes tournans vont à une grande distance du moteur. Il convient particulièrement lorsque l'irrégularité de son mouvement, quand il s'écarte de la ligne droite, n'est pas désavantageuse.

De la cycloïde, de l'épicycloïde, et de la forme des dents des roues.

Si, sur un plan CD, *fig.* 11, un cercle B marche en ligne droite, en tournant en même temps sur son centre, jusqu'à ce que chaque partie de sa circonférence ait touché le plan, le point *a*, qui est le plus bas, au commencement du mouvement aura décrit la courbe CED, qui est appelée cycloïde, et qui est evidemment engendrée par un mouvement circulaire et rectiligne.

Si un cercle A, *fig.* 12, roule de *o* à *q*, sur la circonférence convexe d'un autre cercle B, le point *o* décrira la courbe *opq*, qui est appelée une épicycloïde extérieure; et si le cercle A roule dans la circonférence concave du cercle B, comme de *r* à *s*, le point *r* décrira l'épicycloïde intérieure. Dans tous les cas, le cercle au moyen duquel la courbe est obtenue s'appelle cercle générateur.

Les dents des roues et des pignons demandent beaucoup de soins et de jugement dans leur formation, pour qu'elles n'embarrassent

pas la machine par des frottemens inutiles, et n'agissent pas inégalement de manière à produire des irrégularités dans le mouvement, en portant une partie avant l'autre. On sait depuis long-temps qu'une roue n'en peut pousser une autre avec une vitesse uniforme, à moins que les dents de l'une ou plusieurs des roues n'aient leurs surfaces agissantes formées en courbes engendrées à la manière d'une épicycloïde. Mais pour assurer une pression et une vitesse uniformes dans l'action d'une roue sur l'autre, il n'est pas absolument nécessaire que les dents de l'une ou des deux roues soient exactement épicycloïdes; car si les dents de l'une d'elles sont circulaires ou triangulaires avec des côtés plans, ou comme un triangle avec ses côtés convergens au centre de la roue ou d'une autre forme, on obtiendra l'uniformité de force et de mouvement, pourvu que les dents de l'autre roue aient une figure qui soit composée d'une épicycloïde et de la figure de la dent de la première roue. Delahire a montré comment trouver, dans une infinité de cas, cette figure composée. Comme il est souvent difficile de la décrire, ou même de découvrir sa nature, nous choirons les formes des dents qui conviennent le mieux à la pratique. Il y a trois moyens différens de faire agir les dents des roues l'une

sur l'autre; chaque mode d'action demande une forme particulière pour la dent.

1°. Quand les dents d'une roue commencent à agir sur celles d'un pignon, à l'instant où elles arrivent à la ligne des centres, et que leur action mutuelle a lieu après qu'elles ont passé cette ligne;

2°. Quand les dents d'une roue commencent à agir sur celles d'un pignon avant qu'elles arrivent à la ligne des centres, et qu'elles les conduisent soit à cette ligne, soit un peu au-delà;

3°. Quand les dents d'une roue commencent à agir sur celles d'un pignon avant qu'elles arrivent à la ligne des centres, et qu'elles continuent après qu'elles ont passé cette ligne.

Quand on a adopté le premier mode, les faces agissantes des dents du pignon seront les parties d'une épicycloïde intérieure, engendrée par un cercle d'un certain diamètre roulant sur la superficie concave du pignon; et les surfaces agissantes des dents de la roue seront les portions d'une épicycloïde extérieure, formée par le même cercle générateur, roulant sur la superficie convexe de la roue. Maintenant on peut démontrer que, quand un cercle roule dans un autre dont le diamètre est double de celui du cercle roulant, la ligne engendrée par un point du der-

nier sert une ligne droite tendant au centre du grand cercle. Si le cercle générateur, que nous venons de mentionner, étoit pris d'un diamètre égal au rayon du pignon, et rouloit sur la superficie concave de ce dernier, il engendreroit une ligne droite tendant au centre du pignon; forme qu'il faudroit donner aux faces agissantes de ses dents; et celles de la roue seroient dans ce cas des épicycloïdes extérieures, formées par un cercle générateur dont le diamètre est égal au rayon du pignon, roulant sur la superficie convexe de la roue. Cette construction des dents d'une roue et de celles d'un pignon, indiquée par la *fig.* 13, *pl. IV*, est fortement recommandée par Delahire et Camus, et peut-être avec raison, attendu qu'elle cause moins d'embarras, et se fait bien plus facilement que si l'on donnoit une courbure aux dents du pignon, ainsi qu'à celles de la roue.

Les lanternes, qui sont composées de fuseaux cylindriques fixés par les deux bouts, et presqu'à la circonférence de deux tourteaux d'égal diamètre, et qui dans les moulins remplacent souvent les pignons, peuvent être employées avec avantage, pourvu que les dents des roues qui les engrènent soient d'une forme convenable. La construction indiquée par Brewster a le mérite de

diminuer le frottement occasionné par l'action mutuelle des fuseaux et des dents, et d'être facile à exécuter.

A, *fig.* 14, *pl. IV*, est le centre du tourteau de la lanterne TCHQ, dont les dents sont circulaires, comme ICR, ayant leurs centres dans le cercle PDEY. Sur B, centre de la grande roue, aux distances BC, BD, décrivez les cercles FCK, GDO, et avec PDEY, comme un cercle générateur, formez une épicycloïde extérieure DNM, en la roulant sur la superficie convexe du cercle GDO. L'épicycloïde DNM ainsi formée devroit être la forme de la dent de la grande roue GDO, si les dents circulaires de la lanterne étoient infiniment petites; mais leurs diamètres devant être considérables, les dents de la roue auront une autre forme. Afin de la déterminer, divisez l'épicycloïde DNM en un nombre de parties égales, 1, 2, 3, 4, 5, etc., comme on le voit dans la figure, et faites le plus que vous pourrez de ces divisions. Alors, sur les points 1, 2, 3, comme centres, avec la distance DC, égale au rayon des fuseaux de la lanterne, décrivez des portions de cercles semblables à celles de la figure, et la courbe OPT, qui touche ces cercles, et qui est parallèle à l'épicycloïde DNM, sera la forme convenable de la dent de la grande roue.

Afin que les dents ne puissent pas agir l'une sur l'autre, jusqu'à ce qu'elles aient atteint la ligne des centres AB, la courbe OP ne doit point toucher la dent circulaire ICR jusqu'à ce que le point O soit arrivé en D; la dent O P commencera son action sur la dent circulaire au point I, où elle est coupée par le cercle DRE. Ainsi, la partie ICR du fuseau cylindrique étant superflue, peut être coupée; les fuseaux de la lanterne seront alors des segmens de cercles semblables à ceux de la partie ombrée de la figure.

Si les dents des roues et des pignons sont de matériaux parfaitement durs, et exactement formées suivant ces principes, elles agiront l'une sur l'autre, non seulement avec une force uniforme, mais aussi sans frottement, parce que les surfaces en contact rouleront l'une sur l'autre, et ne glisseront ni ne frotteront de manière à les déformer. Mais, comme il est impossible dans la pratique d'atteindre à la perfection que la théorie exige, il restera toujours un peu de frottement. On peut cependant le diminuer beaucoup à l'égard de la lanterne.

Voici comment:

Si au lieu de fixer les fuseaux par les deux bouts, on les dispose de manière à pouvoir tourner entre les tourteaux, les frottemens

se réduiront à ceux des goujons des fuseaux sur les tourteaux. L'avantage de ce mode de construction est très-considérable. Les fuseaux cylindriques doivent être formés avec soin ; la courbe requise pour les dents de la grande roue se trace aisément ; la pression et le mouvement des roues seront uniformes ; les dents seront très-peu sujettes à s'user, parce que tout le frottement est reporté sur les goujons des fuseaux cylindriques. Cette amélioration ne convient qu'aux grandes machines. Dans les petites, les faces agissantes des dents des pignons ou des petites roues doivent être rectilignes, et celles des grandes roues épicycloïdes, comme dans la *fig.* 13.

Nous avons maintenant à considérer le second mode d'action mutuelle des roues et des pignons, « quand les dents de la roue commencent à agir sur celles du pignon, avant qu'elles arrivent à la ligne du centre, et qu'elles les conduisent soit à cette ligne, soit fort peu au-delà. » Ce mode d'action n'est pas aussi avantageux que le premier ; ainsi il faut, autant que possible, l'éviter. Il est évident que quand les dents d'une roue agissent sur celles d'un pignon, avant qu'elles arrivent à la ligne des centres et les quittent quand elles atteignent cette ligne, plus les dents de la roue pénètrent profondément entre celles du

pignon, plus elles approchent de la ligne des centres : ainsi, il s'établit beaucoup de frottement, parce que les dents (de la roue) ne roulent pas comme auparavant sur les dents (du pignon), mais glissent et s'usent; le pignon se salit, et la poussière qui tombe sur les faces agissantes des roues est poussée dans les creux qui les séparent. Il y a cependant de l'avantage dans ce mode d'action; les dents des grandes roues pouvant être alors rectilignes, le travail du mécanicien est moindre que s'il avoit à leur donner une forme courbe. Cependant, si ces dents sont rectilignes et ont leurs faces dirigées au centre de la roue, les surfaces agissantes des dents du pignon devront être des épicycloïdes formées par un cercle générateur, dont le diamètre égale la somme du rayon de la roue, ajouté à la profondeur d'une de ses dents, roulant sur la circonférence du pignon. Mais si les dents de la roue et du pignon sont curvilignes, les surfaces agissantes des dents de la roue seront des portions d'une épicycloïde intérieure, formées par un cercle générateur, roulant dans la superficie concave du grand cercle, et les surfaces agissantes des dents du pignon seront des portions des épicycloïdes extérieures, produites par la révolution du cercle générateur sur la circonférence convexe du pignon.

Quand les dents d'une grande roue sont des fuseaux cylindriques fixes ou mobiles sur leurs axes, l'épicycloïde extérieure doit être formée comme DNM, *fig.* 14, *pl. IV*, par un cercle générateur dont le rayon est AC, roulant sur la circonférence convexe FCK; AC étant dans ce cas le diamètre de la roue, et FCK la circonférence du pignon. Au moyen de cette épicycloïde, la courbe OPT, formée comme on l'a dit, sera la courbure des surfaces agissantes des dents du pignon, quand les dents de la roue sont cylindriques. En déterminant le diamètre relatif d'une roue et d'un pignon pour ce mode d'action, le rayon de la roue est compté à partir du centre à l'extrémité des dents, et le rayon du pignon de son centre à l'extrémité de ses dents.

Il nous reste à considérer le troisième mode par lequel une roue peut en mettre une autre en mouvement, savoir : « quand la dent d'une roue commence à agir sur les dents d'un pignon avant qu'elles arrivent à la ligne des centres, et qu'elles continuent d'agir quand elles ont passé cette ligne » ; il est représenté par la *fig.* 1, *pl. V*. C'est une combinaison des deux premiers modes, qui participe de leurs avantages et de leurs défauts. On voit, par la figure, que la portion *eh* de la dent de la roue agit sur la partie *bc* de la dent du pignon jus-

qu'à ce qu'elle atteigne la ligne des centres AB, et que la partie *ed* de la dent de la roue agit sur la portion *ba* de celle du pignon après qu'elle a passé cette ligne. Il résulte de là que les parties agissantes *eh* et *bc* doivent être formées d'après les indications que nous avons données pour le premier mode d'action, et que les parties restantes *ed*, *ba* doivent avoir la courbure que le second mode d'action exige; conséquemment *eh* doit être une partie d'une épicycloïde intérieure, formée par un cercle générateur qui roule sur la circonférence concave de la roue, et la partie correspondante *bc* de la dent du pignon doit faire partie d'une épicycloïde extérieure, formée par le même cercle générateur roulant sur *b*E*o*, circonférence du pignon; la partie restante *ed* de la dent sera une portion d'une épicycloïde extérieure, formée par un cercle générateur roulant sur *e*L, superficie convexe de la roue; et la partie correspondante *ba* de la dent du pignon doit faire partie d'une épicycloïde intérieure, décrite par le même cercle générateur roulant sur le côté concave *b*E*o* du pignon. Mais comme dans la pratique la production de cette double courbure des surfaces agissantes des dents donneroit beaucoup d'embarras à l'ouvrier, et ne seroit peut-être jamais exacte, on abrège le travail

en dirigeant *eh* et *ba* suivant des rayons, c'est-à-dire que *eh* est une ligne droite tendant au centre de la roue B, et *b a* également une ligne droite tendant au centre A du pignon.

La forme assignée à la dent, dans les remarques précédentes, a été établie dans la supposition que la roue tire le pignon; mais quand, au contraire, le pignon conduit la roue, la forme indiquée pour la dent de la roue doit être donnée à celle du pignon, et la configuration de la dent du pignon doit être transportée à celle de la roue.

Il y a un autre mode de former les dents des roues, qui a eu beaucoup de partisans, qui le considéroient comme propre à donner l'uniformité d'action. Il consiste à faire les surfaces agissantes des dents suivant la développante de la circonférence de la roue. Ainsi, AB, *fig.* 2, *pl. V*, est une portion de la roue sur laquelle la dent doit être fixée, et A*p a* un fil envèloppant sa circonférence, avec un anneau à son extrémité *a*. On passe dans cet anneau une pointe avec laquelle on décrit la courbe *abcdef*, en developpant graduellement le fil de dessus la circonférence A*pm*. La courbe ainsi obtenue sera la forme de la dent d'une roue dont le diamètre est AB. Cette forme permet à plusieurs dents d'agir ensemble, circonstance qui procure

l'avantage de diminuer la pression sur une seule dent, et oblige la roue d'engrener plus long-temps et plus également; elle a aussi le mérite d'être plus aisément entendue que les autres méthodes qu'on a proposées.

Ce dernier mode de former les dents des roues n'est cependant qu'une modification du principe général; et on ne peut disconvenir qu'on ne reconnoisse quelquefois la développante dans les épicycloïdes extérieures. Cette propriété sera sensible, si on considère que la courbe *a b c d*, etc., peut être produite par un mouvement épicycloïdal. Ainsi, soit une règle droite *o n*, à l'extrémité de laquelle est fixée la pointe *n*; la pointe est placée sur le point *m* du cercle, en roulant la règle sur la base circulaire, de manière que le point dans lequel elle touche le cercle puisse se mouvoir graduellement de *m* en B, la courbe engendrée *m n* sera exactement semblable à *a b c*, etc., obtenue par le cordon.

Dans la pratique, on peut désirer des règles pour tracer des épicycloïdes plus précises que celles que nous avons données au commencement de cette section. Soit, par exemple, un morceau de bois plan GH, *fig.* 3, *pl.* V; placez dessus un autre morceau de bois E, ayant sa circonférence *m b* de la même courbure que la base circulaire sur laquelle doit rouler le

cercle générateur A B. Quand ce cercle générateur est grand, le segment ombré B suffit. A une partie de la circonférence de ce segment fixez une pointe d'acier *a*, trempée de manière à faire une marque distincte; menez-la obliquement, en sorte que la distance de la pointe au centre du cercle soit égale à son rayon. Attachez sur le bord de la planche GH un morceau de cuivre mince *a b*; placez le segment B dans une position telle que la pointe d'acier *a* soit sur le point *b*; et roulez le segment vers G, pour que la pointe d'acier *a* puisse s'élever graduellement, et le point de contact entre les deux segmens circulaires s'avancer vers *m*; la courbe *a b*, décrite sur la plaque de cuivre, sera une épicycloïde *extérieure*. Enlevez avec la lime la partie gauche de l'épicycloïde; il restera l'arc concave *a b*, qui servira de patron pour la dent; à l'aide de ce patron vous ferez aisément les autres. Quand on a besoin d'une épicycloïde *intérieure*, on fait rouler le cercle générateur sur la base *concave*, au lieu de le promener sur la base *convexe*. La *cycloïde* qu'on emploie pour former les dents des *crémaillères* s'engendre de la même manière, à cela près que la base sur laquelle roule le cercle générateur doit être une ligne droite.

Peut-être aucune des parties du mécanisme d'un moulin n'est exécutée avec si peu d'ob-

servation de la théorie que les dents des roues. Chaque constructeur a sa méthode, qui rarement est la meilleure. Grégory décrit un des modes ordinaires, qui est assez facile dans son application, donne beaucoup de force à la dent et produit peu de frottement comparativement aux autres méthodes qu'on emploie. Soit AB, *fig. 4, pl. V,* deux roues de manége de différens diamètres, dont les cercles des contacts des dents passent à moitié de la saillie de celles-ci. Les arcs circulaires ponctués GH, EF, se touchant entre *s* et *d*, représentent ces cercles, sur lesquels, si les deux roues sont de fer, les dents devront occuper la même étendue; mais si les dents de l'une des roues sont de bois et celles de l'autre de fer, celles de fer auront moins d'étendue que celles de bois, parce qu'elles portent mieux de cette manière. Dans la figure, les dents sont censées être de fer les unes et les autres. Supposons que les roues se meuvent de G en H et de E en F, et que les côtés *ab* et *de* des dents soient en contact : de *b*, comme centre, avec un rayon égal à *b p*, décrivez les arcs *p d*, *l m*; de *d* comme centre, avec le même rayon, décrivez les arcs *hi*, *fg*, *ck*. Ainsi, la même ouverture de compas et un centre choisi, où les dents rencontrent les cercles

de contact, serviront à tracer le contour de la partie supérieure de la dent d'une roue et la partie inférieure de la dent correspondante de l'autre roue. Pour empêcher les dents de toucher au fond, laissez la partie inférieure *re* d'une dent un peu plus longue que la partie supérieure *pd* de l'autre. Ce moyen, à l'aide duquel des dents ainsi construites engrènent l'une dans l'autre, peut être compris en considérant le mouvement de deux d'entre elles, *n* et *o* par exemple : la première fois qu'elles se trouvent en contact, elles paroissent comme la courbe *x*P*z*; quand elles arrivent en Q, les mêmes côtés paroissent comme l'indiquent les lignes ponctuées; et quand elles sont en RS, elles sont en contact sur les points du milieu.

Des cames pour élever les pilons, les marteaux.

Les bras qui se projettent de la circonférence d'une roue ou d'un axe, pour élever verticalement des pilons ou des marteaux, qu'ils laissent ensuite tomber par leur propre poids, s'appellent *cames.*

Quand les cames ne sont que de petits cylindres ou des tiges fixées d'équerre sur la surface d'un arbre horizontal, la force

avec laquelle elles élèvent les pilons n'agit pas uniformément pendant tout le temps de l'élévation. Cette uniformité de force et de vitesse est cependant désirable, et peut toujours être obtenue à l'aide d'une forme convenable qu'on donne aux points de communication. Nous ferons quelques remarques sur ce sujet.

La *fig.* 5 représente des portions de pilon pour écraser le minerai, charancer le chanvre, etc., et une moitié de l'arbre avec des cames. G est le montant vertical du pilon, glissant entre des rouleaux, ou dans une entaille, pour conserver sa position; *a* est le bras horizontal du pilon; H partie de l'axe sur lequel les cames E, F, sont fixées. Les lignes ponctuées en A, montrent la hauteur à laquelle le bras horizontal *a* du pilon est élevée par chaque came. A B est une ligne correspondante avec le bras du pilon sur lequel les cames agissent en premier lieu; C D est la circonférence de l'axe ou l'extrémité des courbes des cames. Les faces courbes ou agissantes de ces cames, sont des développantes d'un cercle égal en rayon à l'axe CD, et obtenues comme nous l'avons décrit en notant son application à la formation des dents de roue, c'est-à-dire en développant de dessus la circonférence du cercle auquel nous avons fait allu-

sion, un fil *b* à l'extrémité duquel est un anneau où passe la pointe d'acier qui décrit la courbe à mesure qu'elle approche de C. Le bras du pilon est plat à la partie où la came agit sur lui, et doit être placé sur la même ligne que le centre de l'axe, au moment où la première came vient en contact avec lui.

Les cames pour un marteau de forge, voyez *fig.* 6, peuvent être formées sur le même principe, le centre *a*, sur lequel le marteau se meut, le centre *b* de l'axe et la partie plate de l'extrémité du manche sur laquelle la came agit, doivent être sur la même ligne.

Description d'un moulin à blé.

La description suivante est celle d'un moulin à blé de l'espèce la plus commune. AB *fig.* 7, *pl. V*, est la roue à eau, qui a ordinairement 18 à 24 pieds de diamètre, à partir de l'extrémité de l'aube A, à celle de l'aube opposée B. L'eau frappant sur les aubes de cette roue la fait tourner et donne le mouvement au moulin. La roue est fixée sur un arbre très-fort C, dont un bout porte en D et l'autre en E en dedans du moulin.

Sur l'axe C, et en dedans du moulin est une roue F, d'environ 8 ou 9 pieds de diamètre, armée de dents qui engrènent dans les fuseaux d'une lanterne G. Cette lanterne est

fixée sur un fort axe de fer, dont le bout inférieur tourne dans une crapaudine de cuivre fixée en H dans une traverse horizontale, le bout supérieur tourne dans un coussinet de bois fixé dans la meule inférieure qui pose sur le plancher I. Le bout de cet axe au-dessus du coussinet est carré et entre dans le trou carré d'un fort croisillon de fer *a b c d*, *fig.* 8, sous lequel est au-dessus du coussinet une pièce ronde de cuir épais qui tourne avec sur l'axe en même temps que le croisillon.

Le croisillon est placé dans des entailles à la surface inférieure de la meule tournante, et suit le mouvement de la lanterne G, qui elle-même est menée par la roue dentée F. Cette meule a un large trou percé dans son milieu, par lequel passe le bout supérieur de l'axe de la lanterne, et que croise la partie moyenne du croisillon, dont les quatre extrémités sont fixées sous la pierre dans des entailles.

Un bout de la pièce de bois H qui supporte la lanterne, pose sur le mur, et l'autre dans une poutre LM. Celle-ci entre dans une mortaise en L; l'autre bout M est suspendu par une forte tringle de fer N qui passe à travers le plancher I, elle a une vis et une noix à sa partie supérieure O; en tournant cette noix, le

bout M de la pièce de bois s'élève ou s'abaisse à volonté, et conséquemment la traverse horizontale et la meule tournante. Par ce moyen cette meule supérieure peut être approchée autant qu'il est nécessaire de l'inférieure. Il est inutile d'observer que plus les meules sont près l'une de l'autre, plus le blé est moulu fin, *et vice versa*.

La meule tournante est enveloppée d'une caisse qui ne la touche en aucun point, et qui en est séparée d'un pouce environ tout autour. A la partie supérieure de cette caisse est un châssis de bois pour recevoir la trémie P, sous laquelle est placé le plan incliné Q, qui est attaché par deux pivots sur les montans du châssis; l'autre extrémité est retenue par une corde R qui va s'envelopper sur une cheville S. En tournant cette cheville dans un sens, la corde fait approcher le plan incliné de la trémie et diminue son ouverture; elle fait le contraire en la tournant de l'autre manière. Si le plan incliné joint la trémie, le blé ne peut pas s'en écouler pour tomber dans le moulin; si on l'en écarte un peu, une petite quantité de blé passera, et cette quantité sera plus ou moins grande selon que ce plan incliné sera plus ou moins écarté, car la trémie est ouverte à son fond; il y a également une ouverture au plan incliné, non pas précisé-

ment sous celle de la trémie, mais un peu plus bas, sur le milieu ou l'ouverture de la meule.

Dans le trou carré, au sommet de l'axe de la lanterne, est placé l'agitateur E, *fig*. 8. Il communique à l'auget un mouvement vibratoire par le choc de trois petits bras saillans, de manière qu'à chaque révolution de la roue il donne à l'auget trois secousses qui font écouler régulièrement le blé contenu dans la trémie; celui-ci tombe par l'ouverture de la meule supérieure sur le croisillon dont le cuir un peu incliné le projette entre les deux meules. Le mouvement rapide de la meule supérieure imprime une force centrifuge au blé qui tourne avec elle, l'écarte de plus en plus du centre, et le réduit en farine, qui tombe par un petit conduit dans une auge placée pour la recevoir.

Quand le blé arrive trop vite entre les meules, il les engorge et se mout mal; quand il tombe trop lentement, le moulin tourne trop vite et les meules par leur collision peuvent produire beaucoup d'étincelles. On évite ces inconvéniens en serrant ou desserrant la cheville S, afin d'ouvrir plus ou moins la trémie, suivant le besoin.

Plus la meule tournante est pesante, plus il faut que la quantité d'eau qui tombe sur la roue motrice soit grande, plus il est néces-

saire de nourrir les meules et conséquemment plus le moulin fera d'ouvrage. Au contraire, si la meule est légère et le cours d'eau foible, elle doit être moins nourrie. Quand les meules, usées par le travail, deviennent légères, on augmente leurs poids par quelques additions artificielles, sans quoi le moulin doit être moins nourri pour faire une belle farine.

La puissance nécessaire pour tourner une meule pesante est très-peu supérieure à celle qui est nécessaire pour en mouvoir une légère; car, comme la meule est portée par l'axe de la lanterne qui roule dans une crapaudine de cuivre, la différence de poids en produit une bien petite sur la puissance ou la force de l'eau qui la fait agir. En outre, une meule pesante donne les mêmes avantages qu'un volant pesant, c'est-à-dire qu'elle régularise beaucoup mieux le mouvement qu'une légère, attendu qu'elle est moins sujette à une grande fluctuation de vitesse.

La force centrifuge portant le blé vers la circonférence des meules, il est certain qu'il doit être écrasé quand il arrive dans une place où l'intervalle entre les meules est moindre que son épaisseur; néanmoins comme la meule tournante est supportée sur un point qu'elle ne peut quitter, on ne peut pas regarder comme évident qu'elle doit produire un plus

grand effet quand elle est pesante que quand elle est légère ; puisque si elle est également distante de la meule inférieure, elle n'est capable que d'un effet limité ; mais l'expérience prouve que cette différence existe ; il faut donc en chercher la cause. L'axe de la meule tournante étant supporté par une pièce de bois horizontale, d'environ 9 ou 10 pieds de long, qui pose seulement par ses deux bouts ; la meule par l'élasticité de cette pièce, s'élève et s'abaisse suivant la verticale, et en vertu de ce mouvement, plus les meules sont pesantes, plus elles compriment le blé entre elles.

Afin de couper et d'écraser le blé, les meules inférieures et supérieures ont des entailles qui vont obliquement du centre à la circonférence. Ces entailles, dans le sens de leur longueur, sont faites en pente d'un côté et perpendiculairement de l'autre, de manière que chacun des bords qu'ils forment a un tranchant qui produit l'effet des ciseaux, coupe le blé et le prépare à être moulu plus aisément. Les rainures sont taillées de la même manière dans les deux meules, c'est-à-dire que le côté droit se trouve du même bord à chacune ; quand elles sont placées l'une sur l'autre cet ordre se trouve renversé, et les côtés coupans de chaque rainure agissent l'un contre

l'autre par le mouvement de rotation, pour couper et écraser le blé.

La surface supérieure de la meule dormante est un peu convexe, et celle de la meule tournante légèrement concave; elles sont plus éloignées l'une de l'autre dans le milieu que sur les bords. Par ce moyen le blé arrivant entre elles, est d'abord écrasé, il s'éloigne ensuite de plus en plus et gagne la circonférence; il est progressivement coupé plus petit et finit par se réduire en poudre fine sur le bord des meules.

Quand les meules ont été usées par le frottement, on les enlève de leur place, on les taille avec un ciseau et un marteau. Chaque fois qu'on fait cette opération, on doit nétoyer et graisser avec du suif le tour de l'axe de la lanterne et les collets. Ce suif fondant par la chaleur que cet axe acquiert en tournant et frottant contre les coussinets, empêche qu'ils ne prennent feu.

Le coussinet doit embrasser entièrement l'axe de la lanterne, pour empêcher que dans son mouvement il ne donne des secousses qui feroient porter trop près quelque partie de la meule, tandis que l'autre en seroit trop éloignée. Aussi quand l'axe de la lanterne a usé ce coussinet, qu'il commence à jouer dedans, on l'ôte, et on y fait avec un ciseau plusieurs fentes, par lesquelles on introduit des coins

de bois qui rétrécissent l'ouverture et maintiennent fermement l'axe. En faisant cette opération, il faut avoir soin de mettre des coins égaux dans les deux côtés du coussinet, autrement l'axe seroit dérangé de la verticale, et par suite les meules ne se trouveroient plus exactement parallèles, ce qui est indispensable pour faire de la bonne farine. Quand cet accident arrive, la position perpendiculaire de l'axe doit être rétablie en faisant un peu mouvoir, à l'aide de coins, la traverse LM, dans un sens ou dans l'autre.

Il arrive souvent que le croisillon est faussé, lorsqu'on renverse la meule pour la retailler, ou qu'il s'enfonce un peu plus d'un côté que de l'autre sur l'axe de la lanterne, ce qui fait frotter le bord de la meule supérieure sur un côté de la meule dormante, tandis que le bord opposé est trop écarté. On rectifie aisément cette irrégularité, en soulevant la meule avec un levier, et intercalant des morceaux de cartes, ou de minces copeaux, entre le croisillon et la meule.

Nous rapporterons ici une invention ingénieuse, adoptée par les constructeurs américains, pour élever la farine dans des caisses à la refroidir, d'où elle passe dans les bluttoirs. Ils placent une vis d'Archimède horizontalement dans une caisse qui reçoit la farine du

moulin. La spirale de la vis est composée de pièces de bois de 2 pouces de large et 3 de long, fixées dans un cylindre de bois de 7 à 8 pieds de longueur, qui forme l'axe de la vis. Quand celle-ci tourne sur son axe, elle force la farine de passer d'un bout à l'autre de ce canal, d'où elle tombe dans une autre caisse, d'où elle est élevée au grenier du moulin, par le moyen d'une machine semblable à une chaîne de pompe qui se compose d'une chaîne sans fin de petites boîtes ou de vaisseaux concaves semblables à de grandes soucoupes, fixées à une distance convenable sur une bande de cuir, tournant sur deux roues, dont l'une est placée au sommet du bâtiment, et l'autre au fond, dans l'auge à farine. Quand les roues sont mises en mouvement, la bande marche, et les petits vases plongeant dans la farine s'en emplissent et vont la verser à l'étage supérieur. Ce cuir sans fin avec ses vases, est enfermé dans une boîte carrée, pour les tenir propres, et les garantir du choc et de la poussière. Ce moyen est plus avantageux que celui qui est généralement adopté dans nos pays, où on emplit les sacs, qu'on fait élever au grenier par une corde qui s'enroule sur l'arbre de la roue, après avoir passé sur une poulie placée au grenier.

Des roues de voitures.

Il convient, en commençant, d'entrer dans quelques détails sur l'animal qui doit mettre en mouvement les roues de voitures. Le cheval est admirablement taillé pour tirer, et les circonstances qui lui permettent de le faire avec le plus d'avantage, sont si bien connues de tous ceux qui s'occupent de mécanique, que c'est avec autant de surprise que de regrets qu'on voit à quel point on les néglige. Mais les améliorations se répandent lentement parmi le peuple, elles ne sont guères accueillies plus vite par les charrons de province, qui, comme beaucoup d'autres artisans, aiment mieux suivre aveuglément la pratique de leurs devanciers, que de rechercher si elle est bonne ou mauvaise. La plupart des hommes sont trop attachés à leurs intérêts, le désir de dominer, même sur un animal, les rend souvent cruels, et la cruauté ne sympathise pas avec la raison. Quand on força d'adopter les roues à larges jantes, ceux qui y avoient le plus d'intérêt poussèrent les hauts cris, quelques uns même rendirent la mesure illusoire par la hauteur qu'ils donnèrent aux roues. Au lieu de diminuer la fatigue de leurs chevaux, ils ne firent que l'accroître. On commet encore tous les jours des erreurs relativement

à la ligne de traction; cependant avec un peu d'attention on pourroit les éviter, si on examinoit la forme des épaules du cheval. Il est évident, voyez *fig.* 9, *pl. V*, qu'à l'endroit où le cou du cheval s'élève sur son poitrail, les os des épaules forment une pente *a p*. Cette pente ou inclinaison fait, avec une perpendiculaire à l'horizon, un angle d'environ 14 à 15 degrés; la ligne de traction ou de tirage doit faire le même angle, parce que, quand le cheval tire perpendiculairement à la forme de ses épaules, toutes les parties de celles-ci sont également pressées par le collier. En outre pour vaincre ces obstacles, l'avantage de cette direction inclinée est mécaniquement fort puissante : en voici la preuve. Soit *a*, *fig.* 10, une roue, *b* un obstacle, *c* l'axe de la roue, *d* un rayon qui en soutient le poids, une ligne tirée de la partie la plus près de la ligne horizontale de tirage *c k* à l'obstacle *e*, formera la partie active du levier *g e*; et une antre ligne *e d* tirée de cet obstacle *e* à la partie la plus voisine du rayon *d*, formera la partie résistante du même levier; maintenant, comme les bras agissans et résistans du levier sont d'égale longueur, le levier devient une romaine, et le tirage dans la ligne *g k* doit être égal au poids de la roue et de tout ce qu'elle soutient, plus, le frottement; car si *g c d* est

un levier coudé, un effort en g doit être égal à la totalité du poids supporté par d. Mais quand un cheval tire perpendiculairement à l'inclinaison de ses épaules, suivant la ligne $i\,h$, la partie agissante du levier $h\,e$ est allongée presque d'un quart, de manière que s'il faut un effort en g égal à 400 livres, une puissance appliquée en h tirera la roue sur l'obstacle avec 300 livres. Il est facile, pour ceux qui connoissent les principes de la mécanique, de vérifier cette vérité avec la romaine ordinaire. Le cheval lui-même, considéré comme un levier, a dans ce tirage incliné un avantage manifeste sur cet obstacle, en comparaison du tirage horizontal, comme on le voit par la *fig.* 9. Quand un cheval a un grand obstacle à vaincre, il se convertit lui-même en levier, ses pieds de derrière sont le point d'appui et le centre de gravité de son corps porte dessus pour s'élancer à la plus grande distance possible ; par ce moyen, la double action de son poids, de sa force musculaire et de la longueur de la partie active du levier $a\,b$, lui font vaincre la difficulté, plus par son poids que par sa force ; car les muscles de la jambe agissent sur les os, avec un si grand désavantage mécanique, que, quoiqu'il les tende de tout son pouvoir, ils ne lui servent, dans les grands efforts, que de point d'appui pour la partie antérieure

de son corps. Aussi fait-on usage de chevaux pesans pour le tirage. On peut voir l'avantage marqué de la ligne inclinée de tirage, en appelant la ligne *ab* la partie agissante du levier, et la plus courte distance du point d'appui *b* à la ligne inclinée de tirage (c'est-à-dire *bc*), la partie résistante du levier ; comparez-la avec la partie résistante d'un levier relatif à la ligne horizontale de tirage, c'est-à-dire *bd*, vous la trouverez presque double; en conséquence, conformément aux propriétés du levier, un poids en *g* exigeroit, pour être remué, une force double de celle qu'il exigeroit s'il étoit placé en *e*.

On peut tirer plusieurs conséquences de ces observations. Une des plus importantes est qu'une voiture à un cheval, est préférable à celles qui en ont plusieurs, parce qu'un attelage est obligé de tirer horizontalement, et conséquemment avec désavantage, attendu la structure du cheval et les lois de la mécanique. Les petits chevaux du nord de l'Angleterre traînent des charges plus fortes que les grands chevaux de voiture. Les petits chevaux d'Irlande sont ordinairement chargés de 1500 livres de marchandises; ils font plus de chemin dans un jour que les grosses voitures et sur des routes plus mauvaises que les nôtres. Nos chariots ne sont chargés que de 10 à 1200 livres par cheval, et on perd ainsi

de la force par la mauvaise disposition des attelages.

Les axes ou les essieux des roues de voiture sont généralement inclinés vers le bas; mais cette inclinaison qui est rarement la même dans les deux roues, leur donne une direction diverse qui augmente le tirage du cheval et consomme une partie de sa force inutilement. Ce désavantage est encore augmenté en coudant la roue, car si on laisse rouler d'elle-même une roue de cette forme, elle n'ira pas en ligne droite, mais décrira une ligne courbe, comme un cône. On a calculé combien ces sortes de roues frottoient à la manière des traîneaux, dans un espace donné, et on a trouvé que ce frottement étoit d'environ un sixième. Un autre désavantage des gros chariots est la lenteur de leur mouvement. On a déjà vu combien peu il faut de force pour continuer le mouvement d'un corps pesant, quand il se meut avec une certaine vitesse, en comparaison de celle qui est nécessaire pour le tirer de l'état de repos; mais si le mouvement du corps est extrêmement lent, la force nécessaire pour l'y entretenir est presqu'égale à celle qui a vaincu l'inertie. Ce cas est précisément celui des gros chariots, qui ont à tous les instans de leur tirage, à vaincre le poids de leur charge entière.

Un traîneau, en glissant sur un plan, éprouve un frottement équivalent à la distance qu'il parcourt; mais, si nous le mettons sur des roues dont la circonférence soit de 18 pieds, tournant sur des axes de 6 pouces de circonférence, il est clair que la voiture avançant de 18 pieds sur le plan, la roue fera une révolution; et, comme il n'y a pas de glissement entre le plan et la roue, mais seulement un contact de surfaces, il n'y aura pas de frottement; tout se passera entre le moyeu et l'essieu; ainsi le frottement n'aura plus lieu qu'entre ce moyeu et son axe; donc, le frottement se trouve réduit de 18 pieds à 6 pouces, c'est-à-dire, comme 36 à 1. Par l'emploi des roues, le frottement se trouve diminué dans la proportion du diamètre de l'essieu à celui de la roue. On obtient encore un autre avantage; les surfaces frottantes étant plus petites peuvent être plus droites, unies, polies et ajustées l'une à l'autre. Le seul inconvénient est la hauteur des roues, qui peut, dans quelques cas, ajouter à celle de la voiture elle-même.

Une voiture à quatre roues peut être tirée cinq fois plus facilement que si elle glissoit sur la même surface, à la manière d'un traîneau. Les deux roues de devant sont alors moins hautes que celles de derrière, pour

qu'elles puissent faire tourner la voiture dans moins de place, et non, comme on l'a supposé, pour supporter dans l'action la poussée des grandes roues de derrière.

Les grandes roues ont sur les petites un avantage, quand il s'agit de vaincre des obstacles, parce qu'elles agissent comme leviers, en proportion de leur grandeur. Mais quand elles sont assez hautes pour ne pas permettre à la ligne de tirage d'avoir l'inclinaison dont nous avons parlé, l'avantage qu'elles ont comme longs leviers, est contrebalancé par la perte d'intensité dans la force motrice. C'est pourquoi la somme des avantages des roues tirées horizontalement, n'augmente pas proportionnellement à leur hauteur.

En montant, les roues élevées faciliteront le tirage en raison directe du carré de leur diamètre; mais en descendant, elles pressent dans la même proportion. On remédie à cet inconvénient, en portant en arrière le centre de gravité, quand on descend, ce qu'on obtient en élevant les brancards de la voiture, pour les rendre à peu près horizontaux.

Comme les petites roues tournent plus souvent que les grandes, en raison de leur diamètre, quand le chariot est chargé également sur ses deux axes, celui de devant éprouve plus de frottement, et s'use plus tôt que celui

de derrière, dans la proportion de leur grandeur; on doit donc mettre le plus grand poids sur les grandes roues.

Les roues sont ordinairement faites dévoyées, c'est-à-dire que les raies ne sont pas insérées à angle droit, mais inclinées vers l'axe du moyeu, de manière que si le bout intérieur de celui-ci est mis par terre, les extrémités des raies sont élevées en dehors, et que la roue paroît creuse. Les roues sont ordinairement dévoyées de 4 pouces pour un diamètre de 5 pieds. Si les roues devoient toujours rouler sur un terrain de niveau, la meilleure manière seroit certainement de faire les raies perpendiculaires au moyeu et à l'essieu, parce que c'est dans cette position que le bois porte les plus grandes charges; mais comme les routes sont généralement inégales, une roue tombe souvent dans une cavité quand l'autre n'y est pas, alors elle soutient plus que sa portion de la charge. De là l'utilité de dévoyer les roues, parce que quand une d'elles tombe dans une ornière, ses raies deviennent perpendiculaires, et ont plus de force, que quand elles sont obliques, pour supporter la charge qui tombe sur elles, tandis que l'autre se trouvant allégée d'autant, peut avoir moins de force. Les roues dévoyées placées sur un essieu horizontal ont encore d'autres

qualités : elle rendent la voiture plus stable, lui présentent une base plus large, et sont moins sujettes à verser.

Si les raies sont placées tellement loin du bout extérieur du moyeu, qu'une perpendiculaire tirée de la sole, au côté intérieur de l'axe, tombe à un ou deux pouces des raies, la pression sera quelquefois plus grande sur le côté extérieur que sur le côté intérieur du rayon, quand les roues seront de niveau. Ce sera un avantage, l'essieu sera conique; comme il n'y a plus alors de frottement, la pression doit être diminuée. On a proposé, et cette méthode vaut mieux, de placer les raies dans le moyeu, alternativement sur deux lignes; cela n'affoiblit pas autant le centre, que lorsque les mortaises des raies sont sur une seule ligne, et on obtient une plus grande résistance contre les impulsions extérieures.

La question de savoir si les roues à larges jantes sont les meilleures, a été long-temps débattue. L'opinion populaire a toujours été en faveur des roues étroites, et les voituriers se croyoient lésés par l'obligation d'en avoir de larges, quoiqu'ils pussent atteler plus de chevaux et porter plus de charge qu'auparavant. Cette matière mérite un moment d'attention. Nous avons déjà vu que le frottement aug-

mente avec les surfaces, et l'opinion des voituriers se trouvoit de ce côté, d'accord avec une vérité générale; mais en même temps il est vrai que, si le corps mouvant est assez mince pour couper les surfaces sur lesquelles il passe, le frottement sera augmenté par la diminution des surfaces en contact. C'est pour avoir mal conçu cela, qu'on a penché en faveur des roues étroites, qui s'enfoncent dans les routes, et qui peuvent être considérées, à quelques exceptions près, comme montant toujours sur une montagne, même en parcourant un terrain plan. Mais l'expérience a fait voir qu'au lieu de les labourer, de les couvrir d'ornières, les roues larges unissent les routes et les durcissent, et roulent elles-mêmes avec plus de facilité.

Si les bandes de fer des roues sont de plusieurs morceaux, et non d'un seul, ces parties ne doivent pas d'abord se joindre exactement, parce que, quand la roue a servi quelque temps, elle se resserre et qu'on peut alors remplir les vides. Le bras de l'essieu doit être parfaitement cylindrique, et s'il est aminci vers les deux extrémités, il faut que la différence de ses deux diamètres soit peu considérable. Quelques personnes préfèrent cette forme un peu conique, parce qu'elle dispose la roue à glisser en dehors et empêche qu'elle

ne se presse contre le brancard et n'y occasionne un grand frottement. Quelquefois on incline légèrement les roues entre elles ; c'est pour cela qu'elles sont d'environ un pouce plus rapprochées devant que derrière. Cela se fait ordinairement aux roues qui sont dévoyées, pour les faire porter droit sur la sole ; mais c'est un tort que de rectifier une chose mauvaise par une autre qui ne l'est pas moins, comme si la multiplication des défauts pouvoit produire une compensation.

Le moyeu d'une roue pesante, comme celle des voitures de ferme, a de 12 à 14 pouces de long ; s'il est plus court, la roue vacille, à moins qu'elle ne soit très-bien ajustée à l'essieu. Le moyeu trop long reçoit la boue de la partie supérieure et la répand sur la surface extérieure des jantes.

Les proportions des roues sont autant réglées par l'objet auquel on destine la voiture, que par les facilités qu'elles offrent au mouvement : ainsi, les chariots ont, en général, les roues de derrière grandes et celles de devant petites ; celles d'une voiture à un cheval de bonne taille, pour les besoins ordinaires, peuvent être de 4 à 4 pieds et demi de diamètre. Pour une voiture à 4 roues, supposons que celles de devant aient 4 pieds de haut, et que la ligne de traction soit prise d'une éléva-

tion de 14 degrés du centre de leur axe, le point où cette ligne coupe la circonférence de la roue en avant donnera la hauteur du plan sur lequel se trouve la voiture, et déterminera le rayon des roues de derrière.

Les roues, quelles que soient leurs dimensions, doivent être faites de bois bien sec, sain et exempt de défaut. Les moyeux sont ordinairement en orme, les raies en chêne, et les jantes d'orme ou de frêne. Les jantes courbées, quand le bois n'a pas été altéré par une trop forte chaleur, ont plus de force, toutes choses égales d'ailleurs, que celles qui ont été coupées suivant une courbe.

Dans quelques lieux, on a adopté un moyen bien simple, et qui mérite de l'être partout, de soutenir la charge pendant quelque temps, quand le cheval est arrêté. On se sert de ce qu'on appelle une chambrière ; c'est un bâton attaché par un anneau sous la voiture, qu'on laisse tomber quand il est nécessaire, et qui, un peu plus long que la hauteur du cheval, se place verticalement quand on soulève le brancard.

HORLOGERIE.

Le mot horloge désignoit, dans l'origine, un mécanisme composé de roues, de pignons et de leviers, pour marquer les divisions du temps et sonner les heures; une partie de ce mécanisme constitue la sonnerie; et l'autre, celle destinée à faire mouvoir les aiguilles, est le mouvement.

Les montres sont de petites horloges de poche; celles qui sonnent les heures, en poussant un bouton, sont dites à répétition.

Le terme chronomètre est ordinairement employé par les horlogers et les navigateurs, pour indiquer une montre construite avec beaucoup de soin, et qui sert à déterminer la longitude en mer. On désigne aussi ces montres par le nom de *garde-temps* ou montres marines.

Il y a des documens qui font remonter au milieu du 14e siècle l'invention des horloges à roues et à poids; mais on ne peut en assigner l'époque d'une manière sûre et précise. La sphère d'Archimède a été considérée comme la première tentative vers la confection des horloges; elle avoit un mouvement continu, mais elle étoit dépourvue de régulateur; elle pouvoit seulement mesurer le temps comme un planétaire montre les mouvemens des as-

tres, avec une précision relative, mais non absolue. Berthoud pensoit que l'horloge ne fut pas l'invention d'un seul homme, mais un assemblage d'inventions successives : 1° l'invention des rouages qui étoient connus du temps d'Archimède ; 2° l'application d'un poids comme puissance constante ; 3° l'usage du volant comme régulateur ; 4° la roue à rochet ; 5° la substitution du balancier au volant, et l'échappement qui fut nécessairement introduit en même temps ; 6° l'application du cadran et des aiguilles ; et 7° l'addition de la sonnerie.

L'introduction du ressort comme moteur, au lieu de poids, eut lieu au commencement du 16e siècle. Vers 1650 commença une nouvelle ère pour l'art de l'horlogerie, par l'application du pendule comme régulateur ; en 1715, un moyen de compenser les effets de changement de température fut appliqué aux garde-temps. Depuis cette époque, les inventions se sont succédé avec rapidité. Ces améliorations portèrent sur l'exactitude du travail des pièces, et surtout sur l'échappement, ou les différens modes de lier le mouvement des rouages à celui du balancier. Il faudroit des volumes pour parler de toutes les personnes qui se sont distinguées dans cette partie de l'art. Nous ne pouvons nous étendre sur les principes généraux

de cette sorte de mécanisme, qui seront mieux entendus, si nous commençons par décrire les parties d'une horloge.

On voit, *fig.* 1, *pl. VI*, le profil du mouvement d'une horloge. P est le poids qui la fait marcher ; il est suspendu par une corde qui s'enroule sur le cylindre C, qui est fixé sur les axes *a a*; les pivots *b b* passent dans des trous faits sur les platines de cuivre SS, TT, dans lesquels ils tournent librement. Ces platines sont réunies par quatre piliers, dont deux seulement Z Z peuvent être vus dans le dessin du profil ; le tout ensemble forme la cage. Sur la circonférence du cylindre est une rainure spirale, dans laquelle la corde se loge pour s'envelopper d'une manière régulière.

Si le poids P n'étoit pas retenu, il feroit nécessairement tourner le cylindre C avec un mouvement uniformément accéléré, de la même manière que s'il tomboit librement d'une certaine hauteur ; mais ce cylindre est muni d'une roue à rochet K K ; les côtés droits des dents de celle-ci frappent contre un cliquet qui est fixé par une vis à la roue D D, de manière que l'action de ce poids est communiquée à la roue D D, dont les dents agissent contre celles d'un pignon qui tourne sur ses pivots *c c*. Cette communication des

dents d'une roue avec celles d'une autre s'appelle engrenage. Il faut plusieurs choses pour former un bon engrenage, qui est si important dans toutes les machines où on emploie des roues et des pignons. Les dents des roues et celles des pignons doivent être d'une forme convenable, parfaitement égales entre elles; la grandeur du pignon doit être aussi proportionnelle à la roue.

La roue EE est fixée sur les axes du pignon *d*, et le mouvement, communiqué par le poids à la roue D, est transmis au pignon *d*, conséquemment à la roue EE, ainsi qu'au pignon *e* et la roue EF, qui met en mouvement le pignon *f*, sur l'axe duquel la dernière roue GH est fixée. Ainsi, le mouvement, commencé par le poids, est transmis de la roue GH aux palettes IK de l'échappement (*fig.* 2), fixées sur un arbre passant à travers la platine de derrière de la cage, et portant un levier XU (*fig.* 1), qui est bifurqué à sa partie inférieure pour recevoir le pendule. Le pendule se compose d'une tige métallique suspendue par un morceau de ressort en acier très-mince *y*, à une barre de cuivre A, vissée à la cage de l'horloge et chargée à son extrémité d'un poids en forme de lentille. Le pendule *y* B, une fois mis en mouvement, décrira, autour du point de suspension *y*, un arc de cercle,

et continuera d'aller alternativement, d'un côté et de l'autre, jusqu'à ce que la force qui agit sur lui soit épuisée par les causes qui tendent à éteindre tous les mouvemens artificiels ; tels sont le frottement et la gravitation. Le pendule sert à mesurer le temps : à chaque vibration qu'il fait, la dent de la roue à rochet G H agit sur les palettes I R, *fig.* 2, de manière que, lorsque la dent H a communiqué le mouvement à la palette R, la dent échappe ; la dent opposée G agit alors sur la palette I, et échappe de la même manière. Ainsi, chaque dent de la roue échappe des palettes IR, après leur avoir communiqué son mouvement, et le pendule, au lieu de s'arrêter, continue de se mouvoir.

La roue E E, *fig.* 1, fait sa révolution en une heure ; le pivot *c* de cette roue passe à travers la platine et se continue jusqu'en *r* ; sur ce pivot est la roue N N, avec un long tuyau attaché à son centre. C'est à l'extrémité de ce tuyau *r* qu'est fixée l'aiguille des minutes. La roue N N agit sur la roue O, dont le pignon *p* agit sur la roue *gg* fixée sur un tuyau qui tourne avec la roue N. Cette roue *gg* fait sa révolution en douze heures et porte sur son tuyau l'aiguille des heures.

D'après cette description il est aisé de voir, 1° que le poids P fait mouvoir toutes les roues

et en même temps continue celui du pendule; 2° que la lenteur du mouvement des roues est déterminée par celle du pendule, et 3° que les rouages donnent les parties du temps divisé par le mouvement uniforme du pendule. Quand la corde par laquelle le poids est suspendu, est entièrement développée, on l'enroule de nouveau par le moyen d'une clef qui entre dans le bout carré de l'axe Q, et qu'on tourne dans une direction contraire à celle de la descente du poids. Pour cet effet, le côté incliné de la dent de la roue de rencontre K, *fig.* 2, élève le cliquet C, de manière que la roue K tourne avec le cylindre, tandis que la roue D ne bouge pas. Aussitôt que la corde est enroulée, le cliquet tombe entre les dents de la roue K, et le côté droit de la dent agit de nouveau contre le bout du cliquet, ce qui oblige la roue D à tourner avec le cylindre; le ressort A maintient le cliquet entre les dents de la roue de rencontre. Supposons que la roue DD tourne une fois en douze heures, en donnant seize tours de corde sur le cylindre, l'horloge marchera huit jours de suite.

Il nous reste maintenant à expliquer comment on mesure le temps par le mouvement du pendule, et comment la roue E sur l'axe de laquelle l'aiguille des minutes est fixée, ne

fait qu'une révolution précise en une heure. Les vibrations du pendule se feront dans un temps plus court ou plus long, suivant la longueur du pendule lui-même. Un pendule de 39 ⅕ pouces en longueur, donnera 3600 vibrations en une heure ; c'est-à-dire que chaque vibration se fait en une seconde de temps. C'est pour cela qu'on l'appelle *pendule à secondes*. Mais un pendule de 9 $^{25}/_{32}$ pouces, fait 7200 vibrations dans une heure; ou deux de celles-ci s'accomplissent en une seconde de temps; et il est appelé *pendule à demi-secondes*. Ainsi, en construisant une roue dont la révolution doit se faire dans un temps donné, on doit avoir égard au temps des vibrations du pendule qui réglera ce mouvement. Supposons que le pendule *y* B fait 7200 vibrations dans une heure, et voyons comment la roue E mettra une heure à faire sa révolution. Cela dépend entièrement du nombre de dents que portent les roues et les pignons. Si la roue à rochet contient 30 dents, elle fera un tour pendant que le pendule donnera 60 vibrations ; car à chaque tour de la roue la même dent agit une fois sur la palette I et une fois sur la palette K, et à chaque coup le pendule fait une vibration ; ainsi une roue de 30 dents produit deux fois 30 vibrations ; elle doit en

conséquence faire 180 révolutions dans une heure ; parce que les 60 vibrations qu'elle occasionne à chaque révolution sont contenues 120 fois en 7200, nombre des vibrations que fait le pendule en une heure. Maintenant pour déterminer le nombre des dents à donner aux roues E et F, et à leurs pignons *e* et *f*, il faut remarquer qu'une révolution de la roue E doit faire tourner le pignon *e* autant de fois que le nombre de dents dont il est garni, est contenu dans le nombre de dents de la roue. Ainsi si la roue E contient 72 dents et le pignon *e* 6, celui-ci fera 12 révolutions pendant que la roue en fera une ; car chaque dent de la roue en pousse une du pignon ; et lorsque les six dents du pignon auront marché, sa révolution complète sera faite ; mais comme la roue E n'a avancé pendant ce temps que de 6 dents, elle en a encore 66 à faire passer avant que sa révolution soit terminée, ce qui exige 11 révolutions de plus de la part du pignon. Par la même raison, la roue F ayant 60 dents, et le pignon *f* seulement 6, ce dernier fera 10 révolutions pendant que la roue en achevera une. Maintenant la roue F étant menée par le pignon *e* fait 12 révolutions pour une de la roue E ; et le pignon *f* fait 10 révolutions

pour une de la roue F ; conséquemment le pignon f fera 10 fois 12 ou 120 révolutions dans le temps que la roue E en fera une. Mais la roue G qui est conduite par le pignon f détermine 60 vibrations dans le pendule chaque fois qu'elle fait sa révolution ; conséquemment, la roue G fait faire 60 fois 120 ou 7200 vibrations au pendule, pendant que la roue E fait une révolution ; mais 7200 vibrations sont le nombre de celles que bat le pendule dans une heure, conséquemment la roue E fait une révolution en une heure et ainsi de suite.

D'après ce raisonnement, il est aisé de découvrir comment une horloge doit être faite pour aller un temps donné sans être remontée. Il faut 1° augmenter le nombre des dents des roues ; 2° diminuer le nombre des dents des pignons ; 3° augmenter la longueur de la corde à laquelle le poids est suspendu ; 4° enfin, augmenter le nombre des roues et des pignons : mais il faut augmenter le poids proportionnellement au temps, ou la force communiquée à la dernière roue GH diminuera.

Nous venons de voir la partie de l'horloge qui a rapport au mouvement, il nous reste à considérer les nombres de dents des roues qui font mouvoir les aiguilles des heures et des minutes. La roue E fait sa révolution en



une heure ; la roue NN qui est placée sur le même axe, fait aussi la sienne dans le même temps, et l'aiguille des minutes est fixée sur le tube de cette roue qui serre un peu l'axe C de la roue E, et est ainsi entraînée dans sa révolution par son seul frottement, de manière que l'aiguille est tournée sans affecter les rouages contenus dans la cage de l'horloge. La roue N a 30 dents et agit sur la roue O qui a également 30 dents et le même diamètre ; conséquemment la roue O met une heure à faire sa révolution. Mais cette roue O porte le pignon *p* armé de 6 dents, qui agit sur la roue *gg* de 72 dents ; conséquemment le pignon *p* fait 12 révolutions, tandis que la roue *gg* en fait une ; ainsi cette dernière roue *gg* met 12 heures pour faire sa révolution ; c'est sur le tube de cette roue qu'est fixée l'aiguille des heures.

La plupart des roues qui appartiennent à la partie de la sonnerie et même à celle du mouvement, sont renfermées entre les platines de la cage SS, TT, qu'on voit de profil dans la *fig.* 1. On les a omises dans cette figure pour éviter la confusion ; mais la projection de toutes les roues placées entre ces platines peut être vue dans la *fig.* 2, comme si la platine SS étoit enlevée.

La *fig.* 3 montre le mécanisme de la partie

de la sonnerie contenu entre la platine S S et le cadran ; les nombres joints à chaque roue indiquent ceux des dents qu'elles contiennent.

Passons maintenant à la sonnerie. Dans la *fig.* 2, *h* est la grande roue de cette partie ; elle a un cylindre et un cliquet comme la roue D. Elle conduit un pignon de 8, sur l'arbre duquel est la roue *i*, menant un pignon de 8 sur l'arbre de la roue *k* de 48 dents. La roue *k* engrène dans un autre pignon de 8 placé sur le même arbre que la roue *t* de 48, et cette dernière roue tourne un pignon de 6, sur l'axe duquel est une large pièce plate de métal appelée le volant, qu'on voit de profil en *s*. Ce volant frappe l'air avec une assez grande surface, pour que la résistance qu'il en éprouve empêche le mouvement d'aller trop vite. La roue *i* a huit pointes qui se projettent en dehors ; ces pointes élèvent la queue du manche du marteau à mesure que les révolutions de la roue les tirent à elle ; ce marteau s'échappe violemment, au moyen du ressort *z* quand la pointe le quitte, et frappe le timbre *x* : *u* est un court ressort qui relève le marteau dès qu'il a frappé la cloche. Les huit pointes de la roue *i*, passent sur le bout du manche du marteau 78 fois en frappant les 12 heures,

78 étant le nombre de coups que reçoit le timbre pendant ce temps. Comme le pignon de la roue *i* a huit dents, chaque dent du pignon répond à une des pointes; et comme la roue *h* a 78 dents, elle tourne une fois en 12 heures, comme la grande roue D de la partie du mouvement. Dans la roue *i*, huit dents correspondent à une des pointes pour le marteau, et comme le pignon de la roue *k* a huit dents, cette dernière tournera une fois pour chaque coup de marteau. Ainsi comme le pignon de la roue *t*, tourne six fois pendant que la roue *k* une, et que le pignon du volant tourne huit fois pendant que la roue *t* en tourne une $6 \times 8 = 48$, nombre de tours faits par le volant pour un coup de marteau.

Dans la figure 3, *r* est un petit pignon d'une seule dent ou palette, fixée sur l'arbre de la roue *k*, *fig.* 2, qui traverse la platine S S, *fig.* 1; conséquemment, la palette *r* tourne, comme la roue *k*, une fois pour chaque coup de marteau; *s* est un segment d'une grande roue, tourné par la palette et appelé le râtelier. Le bras *a* est attaché au râtelier, et son extrémité appuie contre une plaque spirale *v*, appelée, d'après sa forme, limaçon. Ce limaçon est fixé sur le même arbre tubulé que l'aiguille des heures et la roue

72, et fait une révolution en 12 heures. Chacune de ces 12 divisions ou pas, répond à une heure; les arcs circulaires formant leur circonférence sont tirés du centre de l'arbre, avec un rayon différent, qui décroît d'une certaine quantité chaque fois, dans l'ordre des heures, et chaque pas est un arc égal à la 12e partie de la circonférence dont il fait partie.

La partie circulaire du râtelier *s* est coupée en dents, dont la longueur est telle que chaque pas sur le limaçon répond à une d'elles. Un ressort *w* presse contre la tige du râtelier et pousse le bras *a* du râtelier contre le limaçon. Le cliquet *g* entre dans les dents du râtelier et les lève en opposition au ressort *w*. Le bras *k* de la triple détente *bk* est courbé à son extrémité; il passe à travers un trou dans la platine SS de la cage, et attrape une goupille fixée à l'un des bras de la roue *t*, *fig.* 2, laquelle goupille décrit le cercle ponctué dans la *fig.* 3; l'autre bras *b* est placé de manière à tomber dans le champ d'une autre goupille dans la roue O, de 30 dents. Les roues de la sonnerie, telles que les présente la figure, sont en mouvement et continuent de tourner jusqu'à ce que la palette *r*, qui tourne comme nous l'avons dit, une fois à chaque coup du marteau, lève le râtelier *s*, en opposition au ressort *w*; une

dent s'échappe et le cliquet *g* retient le râtelier jusqu'à ce qu'une goupille placée au bout soit remontée par le levier de la palette *r*, qui empêche la roue d'aller plus loin. C'est dans cette position avec le râtelier monté que nous allons décrire l'opération de la sonnerie. La roue O tourne, comme nous l'avons dit, une fois en une heure, et par conséquent, à l'expiration de chaque heure, la goupille qu'elle porte touche l'extrémité *b*, et la pousse vers le ressort qui est près d'elle; elle déprime l'extrémité *k* jusqu'à ce qu'elle tombe dans le cercle de mouvement de la goupille dans la roue *t*, *fig.* 2. En même temps le bras le plus court presse le bout du cliquet *g* et élève l'autre pour dégager les dents du râtelier *s*; le ressort *w* pousse immédiatement ce râtelier en arrière jusqu'à ce que le bout de son bras *a* arrive contre le limaçon. Quand le râtelier tombe en arrière, la goupille se dégage de la palette *r* et les roues sont mises en liberté; le moteur ou poids les met en mouvement, mais pendant un temps très-court, avant que le marteau ait frappé; la goupille de la roue *t*, tombe contre le bout *k* et arrête le tout. Cette opération a lieu quelques minutes avant que la cloche sonne; le bruit que font les roues est ce qu'on appelle la détente. Quand l'heure est expirée, la roue

O a suffisamment tourné pour permettre à l'extrémité du bras *b* de glisser sur la goupille, comme dans la figure; le petit ressort pressant contre elle, élève le bout *k*, de manière à le porter dans le cercle de la goupille de la roue *t*, *fig.* 2. Tous les obstacles sont maintenant vaincus; la goupille de la roue *i*, *fig.* 2, lève le marteau *p* et frappe le timbre; la palette *r* saisit une dent du râtelier à chaque tour; le cliquet *g* le retenant jusqu'à ce que la goupille du râtelier vienne sous la palette *r*, et arrête le mouvement du train, jusqu'à ce que la goupille de la roue O, à l'heure suivante, lève la pièce d'avertissement *b k* et que l'opération se répète.

Comme la palette retourne une fois par chaque coup de marteau, et qu'elle saisit une dent du râtelier à chaque tour, il est évident que le nombre de dents que le râtelier peut faire marcher est celui des coups que donnera le marteau. Il est aussi évident que d'après la forme du limaçon, dont un nouveau pas tourne à chaque heure au bout du bras *a* du râtelier, ce râtelier recule différemment chaque fois, et que chaque repos du limaçon répond à une dent du râtelier, et chaque dent de ce dernier à un coup de marteau, que le nombre de coups est augmenté un à un, de 1 à 12.

Comme rien n'affecte la position du limaçon, que le mouvement de la roue *g*, sur l'axe de laquelle il est fixé, et comme le pas sur lequel le bras *a*, *fig.* 3, du râtelier repose pendant qu'une heure donnée frappe, est encore le pas sur lequel il reste jusqu'à l'heure prochaine; si une partie de l'intervalle entre le moment où l'heure sonne et celui où la détente de la suivante commence, on adopte un moyen de mouvoir le bras *b* de la détente; l'heure sera, attendu qu'il est mu dans des périodes régulières, par la goupille de la roue O, de nouveau frappée, ou, comme on dit, l'horloge sera à répétition; et les heures subséquentes frapperont avec la même précision que si le mécanisme n'avoit pas été touché. Une corde mince, par exemple, attachée au bras *b* sera suffisante pour produire cet effet; elle passe par le côté de la pendule et va rencontrer la personne qui veut s'en servir pendant la nuit pour répéter les heures.

Il est également entendu que le limaçon accompagne la roue *g*, *fig.* 1, sur le bout de l'axe creux où l'aiguille des heures est fixée, et comme *g* à travers le milieu du pignon *p*, la roue O tire son mouvement de la roue N, dont l'axe creux porte en *r* l'aiguille des minutes, cet axe creux est très-serré, mais non fixé à demeure, sur l'arbre *c*; ainsi, si

on a besoin de pousser les aiguilles et de les remettre à l'heure, la partie de la sonnerie éprouve des changemens correspondans, change aussi, et sonne les heures passées, sans que les rouages de la partie du mouvement de la pendule qui sont entre les platines de cuivre, en soient affectés.

Les horloges construites pour donner l'heure avec la plus grande précision, sont généralement faites pour aller tant qu'elles sont montées; on ajoute une seconde grande roue à rochet sur le même arbre qui fait remonter l'horloge, mais avec des dents courbées en sens contraire; un fort ressort, joint cette roue à rochet avec la grande roue de l'horloge, qui est sur le même axe qu'elle; une des extrémités de ce ressort est attachée à la grande roue, et l'autre au grand rochet; et un arrêt placé à la face intérieure du dos de la platine de ce rochet, l'empêche de se mouvoir en arrière quand on remonte l'horloge, et sert de support pour la réaction du ressort. Quand l'horloge est abandonnée à l'action de son poids, le petit rochet tourne autour du grand, et contracte le ressort jusqu'à ce qu'il ait une force suffisante pour entraîner la grande roue et le train; et quand l'action de ce poids est suspendue, comme lorsqu'on le remonte, le ressort, débarrassé de la puissance contrac-

tante du poids, se détend et force la grande roue à tourner; son action en sens contraire sur le grand rochet, est prévenue par l'arrêt dont nous avons parlé.

Les horloges dont le pendule bat les demi-secondes, ont ordinairement un ressort, au lieu de poids, pour puissance motrice. Ce ressort consiste en une longue lame d'acier, tournée en forme de spirale; elle est renfermée dans une boîte cylindrique, à laquelle son extrémité extérieure est attachée, tandis que l'intérieure est fixée sur l'axe autour duquel la boîte du ressort tourne. Comme la force du ressort est d'autant plus grande qu'il est plus tourné par sa boîte, son action sur les rouages de l'horloge seroit inégale; pour remédier à cet inconvénient, on adapte une roue à fusée, de la même construction que celle qui est employée dans les montres. La manière dont la fusée règle l'action du ressort a déjà été démontrée par une figure. Si au lieu du cylindre C, *fig.* 1, on se sert d'une roue à fusée ou poulie, avec un ressort tourné en spirale dans un tambour cylindrique, on aura l'idée d'une pendule à ressort.

MODE DE DIVISER LA CIRCONFÉRENCE DES CERCLES.

Quelquefois on se sert de roues à nombre impair de dents pour les pendules astronomiques, les planétaires, etc., et comme les machines à diviser, employées ordinairement par les horlogers, ne sont pas faites pour cet usage, nous allons donner une méthode pour diviser un cercle en un nombre impair de parties égales, avec la machine à diviser les roues.

La division d'un cercle en un nombre pair de parties égales, ne présente pas de difficultés, non plus que celle d'une portion donnée du cercle en un certain nombre de parties égales. Avec un peu de réflexion, nous arriverons à la solution du problème. Ici, nous n'avons pas de nombres impairs; mais si on en soustrait un certain nombre, il restera un nombre pair de subdivisions. Supposons que le nombre de divisions égales dont on a besoin soit 69, ôtons 9, il restera 60. Alors, comme chaque cercle est supposé contenir 360 degrés, dites : le nombre de parties égales contenues dans le cercle, qui est 69, est à 360 degrés comme 9 est à l'arc correspondant du cercle qui les contiendra; on trouvera par la règle de trois, que cet arc est de 46,95. Sur la ligne des cordes d'une échelle, ou

plutôt avec un secteur, prenez 46,95 (ou 46,9) degrés sur la circonférence du cercle, et divisez l'arc, ou portion de cercle en 9 parties égales avec un compas, et le reste du cercle en 60; le tout se trouvera divisé en 69 parties égales.

Il n'est pas nécessaire d'ôter 9 parties, afin de laisser un nombre convenable à subdiviser; mais il est avantageux d'ôter un nombre considérable de degrés d'une échelle, surtout quand ils sont pris sur une échelle de cordes d'une règle commune; auquel cas ils sont moins sujets à être pris inexactement, lorsqu'il y en a peu. Voici un exemple à suivre: quand on a à sa disposition une bonne règle, supposez qu'on ait à diviser la circonférence d'un cercle en 83 parties égales, ôtez-en 3, il en restera 80; faisant usage de la règle de trois, on dira: 83 est à 360 comme 3 à 13,01 degrés; la petite fraction peut ici être négligée. On prend en conséquence, sur la ligne des cordes ou sur un secteur, avec un compas à pointes fines, 13 degrés sur la circonférence du cercle; on divise cet arc en 3 parties, le reste du cercle en 80, et le problème se trouve résolu.

Supposons encore qu'on demande de diviser un cercle donné en 365 parties égales, on en soustrait 5, il reste 360: et parce que 365 par-

ties sont à 360 degrés comme 5 parties sont à 4,93 degrés; ôtez 4,93 (ou 4,9) degrés à l'aide de l'échelle, divisez l'arc obtenu en 5 parties égales, et le reste du cercle en 360; le tout sera, de cette manière, divisé en 365, nombre désiré de parties égales.

Une personne, accoutumée à l'usage du compas, de l'échelle, des cordes et du secteur ou compas de proportion, peut très-aisément, avec un peu de pratique, prendre à vue des degrés et des fractions de degrés.

Quelques remarques sur l'usage du secteur peuvent être utiles. Le secteur se plie dans le milieu, non seulement pour être placé dans un plus petit espace, mais pour résoudre beaucoup de problèmes, par les tables et les échelles qui sont gravées sur les deux côtés de chacune de ses branches. Quand il est ouvert de toute sa longueur, il a ordinairement un pied; chaque pouce est divisé en 10es ou en lignes. Au bord est une autre échelle qui divise le pied en 10 parties égales, et chaque 10e de pied est encore subdivisé en 10es, ce qui donne une division de 12 pouces en 100 parties égales; mais la première échelle dont nous avons parlé comme utile pour diviser les cercles, est la suivante, sur le bord intérieur, marquée *pol.* pour polygone. En donnant au secteur une ouverture telle qu'il puisse

admettre le rayon du cercle à diviser, entre la division cotée 6 sur une des branches, et celle cotée de même sur l'autre, nous connoîtrons, en une fois, la division de la circonférence de ce cercle en un nombre de parties égales, de 4 à 12, parce que de la division 4 à la division 4 opposée, nous avons une corde soutendant un quart de cercle; de 5 à 5, le côté d'un pentagone régulier, ou une division du cercle en cinq parties; de 6 à 6, en 6 parties, et ainsi de suite. Deux lignes égales des cordes marquées de la lettre C sont inclinées l'une à l'autre, et se rencontrent au centre de la charnière de l'instrument. Pour avoir un nombre de degrés sur la circonférence d'un cercle dont le rayon n'excède pas la longueur de ces deux lignes ensemble, ouvrez le secteur jusqu'à ce que la distance entre le 60e degré, sur chaque échelle des cordes, soit exactement égale au rayon du cercle à diviser; de 50 à 50, on aura une étendue de 50 degrés du même cercle; de 30 à 30, une étendue de 30 degrés, et ainsi de suite pour les autres nombres.

Proportion du diamètre des roues et des pignons.

La proportion convenable des roues et des pignons est un objet important dans toute

espèce d'engrenage, mais surtout en horlogerie, où la transmission de la puissance motrice et la communication du mouvement ne sont égales qu'autant que les grandeurs respectives sont prises avec soin. Cette question a vivement fixé l'attention de ceux qui ont écrit sur l'horlogerie ; mais les praticiens sont encore loin d'être d'accord à cet égard. Le mode ordinaire de proportionner les roues et les pignons, est d'abord de les faire l'une et l'autre un peu trop gros pour le calibre proposé ; d'arrondir ensuite toutes les dents du pignon et quelques unes de celles de la roue; après quoi on diminue graduellement ces dernières, jusqu'à ce que, par des essais successifs dans la platine où elles doivent agir, on ait trouvé qu'elles engrènent assez profondément, quand leurs pivots sont placés dans les trous faits d'avance pour les recevoir. Cette pratique fait perdre beaucoup de temps, et laisse à la discrétion de l'ouvrier la détermination du travail le plus délicat. Nous allons donner quelques conseils à cet égard.

Si les dents doivent être arrondies, prendre une figure circulaire, qui cependant n'est pas la meilleure, la ligne de contact devra passer par la moitié de la hauteur de la dent; mais si elle est terminée en épicycloïde, la pro-

fondeur sera alors des trois quarts de la largeur de la dent de la roue ou du pignon; et comme la forme épicycloïde est la meilleure pour la transmission régulière de la force et de la vitesse, elle est généralement adoptée dans la pratique. Si nous supposons que les dents et les espaces qui les séparent sont égaux entre eux, comme ils le sont ordinairement dans les travaux d'horlogerie, nous aurons le vrai diamètre agissant d'une roue ou d'un pignon, plus grand que le diamètre des contacts (qui est quelquefois appelé diamètre géométrique), des ¾ d'une dent, ou de l'espace sur chaque côté du centre, ou 1 ½ pour le diamètre total. Une dent ou un espace peuvent être appelés une *mesure*, et il doit y avoir dans une roue deux fois plus de mesures que de dents. Ces mesures de circonférence peuvent se réduire en mesures de diamètre, par le rapport usuel de 3.1416 à 1; et alors si 1 ½ est ajouté à ces mesures de diamètre, nous aurons le diamètre agissant convenable, qui peut être exprimé en pouces et ses fractions, quand le nombre de mesures en pouces est connu. Soit, par exemple, une roue et son pignon $^8/_{96}$, ayant 12 dents par pouce, à la ligne des contacts; le nombre des mesures de la roue est 2×96 ou 192, chacune mesurant $^1/_{24}$ de pouce. Alors 3.1416 : 1 :: 192 :

61.1. Si donc le diamètre géométrique exprimé par 61.1 mesures, est augmenté de 1.5, la somme 62.6 ou 62 $^6/_{10}$ sera le diamètre agissant exprimé en mêmes unités, qui sont des 24es de pouce; mais $^{62.6}/_{24}$ donne 2.6 p. pour le diamètre agissant de la roue en question. A l'égard du pignon de 8, qui doit avoir 16 mesures semblables dans sa circonférence, par la même proportion le diamètre sera 5.09 mesures, auquel ajoutant 1.5, on aura pour diamètre agissant 5.19+1.5=6.59; ou, avec une suffisante exactitude, 6 $^6/_{10}$, qui, divisés par 24, comme ci-devant, donneront $^{27}/_{100}$ d'un pouce, ou un peu plus d'un quart; pour le diamètre agissant du pignon.

La table suivante, suffisamment exacte pour la pratique, convient pour déterminer les grandeurs des roues et des pignons; elle a été dressée par Berthoud, et calculée en supposant que les dents sont des épicycloïdes, et que la circonférence est au diamètre comme 3 : 1, au lieu de 3.1416 : 1.

TABLE DE LA GRANDEUR PRATIQUE DES PIGNONS.

Dents des pignons.	Mesures de la roue pour un diamètre du pignon.
3	3. 5
4	4. 1
5	4. 8
6	5. 5
7	6. 1
8	6. 8
9	7. 5
10	8. 1
11	8. 8
12	9. 5
13	10. 1
14	10. 8
15	11. 5
16	12. 1

Pour reconnoître la manière dont cette table est construite, afin que les personnes qui le voudront puissent la continuer suivant leur besoin, multipliez le nombre des dents du pignon par 2 pour les mesures dans la circonférence; divisez par 3 pour le diamètre, et ajoutez-y $\frac{1}{4}$ pour la grandeur d'action. Ainsi, supposez le diamètre d'un pignon de neuf dents : $9 \times 2 = 18$, et $\frac{18}{3} = 6$, et $6 + 1.5 = 7.5$ ou $7 \frac{1}{2}$; cette dernière quantité est prise pour le calibre extérieur de la roue, dont les dents sont supposées coupées, mais non

arrondies, on aura 3 ½ dents et 4 espaces ou 4 dents et 3 ½ espaces.

Peut-être quelques personnes, peu familiarisées avec le calcul décimal, désireront-elles d'autres renseignemens; nous allons encore rapporter, d'après le même excellent mécanicien Berthoud, la méthode qu'il recommande pour proportionner les pignons.

DIAMÈTRE PLEIN OU AGISSANT DU PIGNON.

Nombres des dents.

4 = deux dents pleines de la roue, sans être arrondies et l'espace entre elles.
5 = trois dents arrondies d'un point à l'autre.
6 = trois dents pleines sans être arrondies.
7 = trois dents pleines et un quart de l'espace en sus.
8 = quatre dents arrondies d'un point à l'autre.
9 = quelque peu moins que quatre dents pleines.
10 = quatre dents pleines.
11 = La mesure n'est pas donnée.
12 = cinq dents pleines.
13 = Pas de mesure de donnée.
14 = six dents arrondies d'un point à l'autre.
15 = six dents pleines.

Il faut observer que la grandeur relative d'un pignon bien proportionné doit être un peu moindre pour une petite roue que pour une grande, et aussi plus petit quand il est

mené que quand il mène. Pennington ajoute 2 mesures $\frac{1}{2}$ au diamètre géométrique de la roue et 1 $\frac{1}{2}$ au pignon dans les montres, quand la roue conduit, et 1 $\frac{8}{10}$ à chaque, quand c'est le pignon qui mène.

Quand la distance est donnée entre les centres de deux roues, d'un nombre inégal de dents, mais destinées à engrener l'une dans l'autre, leurs diamètres respectifs peuvent être déterminés par la règle suivante : comme la distance entre les centres des roues est égale à la somme de leurs deux rayons géométriques (c'est-à-dire leurs rayons aux lignes des contacts, ou les rayons qu'elles auroient, si elles étoient semblables à deux rouleaux cylindriques tournant l'un par l'autre), ainsi la somme du nombre des dents dans les deux roues est, à la distance entre leurs centres, prise en une espèce de mesure, comme pieds, pouces ou parties d'un pouce, comme le nombre de dents dans l'une de ces roues est au rayon de cette roue, prise avec la même mesure de son centre à la ligne des contacts. Nous supposons avoir besoin de deux roues d'une grandeur telle que la distance entre leurs centres soit 5 pouces, et que l'une d'elles ait 75 dents et l'autre 33; la somme des dents dans les deux est 108; ainsi 108 dents sont à 5 pouces comme 75 dents à 3.47 pouces; et comme 108

est à 5 comme 33 à 1.52. On voit que, du centre de la roue de 75 dents à sa ligne des contacts, il y aura 3.47 pouces, et du centre de la roue de 33 dents à cette même ligne, 1.52 pouce.

A l'égard de la meilleure forme pour les dents d'horlogerie, ce sujet a été discuté en traitant des moulins. La grandeur relative des roues n'avoit été qu'indiquée alors; nous venons de compléter ce que nous devions en dire.

Du pendule.

Un pendule est un corps pesant suspendu de manière à osciller autour d'un point fixe par la force de gravité. Un corps ainsi suspendu décrit nécessairement un arc de cercle, dans une des parties duquel il descend, et monte dans l'autre.

Chaque balancement que fait un pendule s'appelle une vibration ou une oscillation.

PC, *fig.* 4, *pl. VI*, est un pendule consistant en un corps P, attaché par un fil PC, qui est fixé, et se meut autour du point C. Si le corps P n'étoit pas retenu par le fil, il descendroit suivant la verticale PL; mais comme le fil empêche sa chute, il décrit l'arc PA, qui est le segment d'un cercle dont PC est le rayon. La vitesse acquise par le corps P, en tombant par l'arc PA, lui donne une ten-

dance, quand il arrive au point A, à s'échapper de l'arc par la tangente AD; mais, le fil le retenant continuellement vers le centre, il s'élève et décrit le cercle AE. Arrivé en E, il retombe encore, et la vitesse acquise dans cette seconde chute le porte vers P, et ce mouvement de va-et-vient continue jusqu'à ce qu'il soit éteint par les effets de la résistance de l'air, le frottement du point de suspension et la force de gravitation par laquelle le corps P est attiré vers le centre de la terre dans une direction perpendiculaire à l'horizon. Ces causes diminuent la longueur de chaque vibration du pendule, et occasionnent inévitablement son arrêt dans un temps plus ou moins long, suivant leur intensité.

Le mouvement d'un pendule est soumis aux règles suivantes : 1° les temps des vibrations dans de très-petits arcs sont tous égaux; 2° la vitesse de la lentille au point le plus bas est presque proportionnelle à la longueur de la corde de l'arc qu'elle décrit dans la descente; 3° les durées de vibration de différens pendules dans le même lieu, sont comme les racines carrées des temps d'une de leurs vibrations; 4° le temps d'une vibration est au temps de la descente dans la moitié de la longueur du pendule, comme la circonférence d'un cercle

à son diamètre; 5° il résulte de là que la longueur d'un pendule, vibrant les secondes, sera environ de 39.2 pouces; celle d'un pendule à demi-secondes, de 9.8 pouces, et celle pour un pendule à quart de secondes, 2.45 pouces; 6° une verge homogène uniforme RS, *fig.* 5, comme une tige qui est un tiers plus longue que le pendule CP, *fig.* 4, vibrera dans le même temps que lui. On peut déduire de ces propriétés du pendule son utilité comme régulateur du temps.

Dans l'origine, quand les pendules furent appliqués aux horloges, on les fit très-courts, et les arcs de cercles étant considérables, le temps des vibrations par des arcs différens étoit inégal. Pour remédier à cet inconvénient on imagina de faire vibrer le pendule dans une cycloïde, en le suspendant entre deux supports cycloïdaux. Un fil, ou quelque matière flexible, formoit la partie supérieure du pendule, se plioit alternativement sur ces deux supports. La cycloïde a pour propriété, que le corps grave qui la décrit parcourt tous ses arcs, grands ou petits, dans des temps proportionnels à leur longueur; cette théorie étoit bonne, mais son application au mouvement du pendule est si imparfaite qu'on l'a abandonnée partout. Dans les pendules astronomiques, l'arc de vibration doit être reconnu

avec exactitude, et s'il est différent de l'arc décrit par celui qui est décrit par le pendule quand l'horloge marque le temps, on doit le corriger. Cette correction exprimée en secondes de temps sera égale à la moitié de trois fois la différence du carré de l'arc donné et de celle de l'arc décrit par le pendule quand l'aiguille marque le temps, ces arcs étant exprimés en degrés ; et le pendule gagnera ou perdra suivant que le premier de ces arcs sera plus grand ou plus petit que le second. Ainsi si l'horloge marque le temps vrai quand le pendule vibre dans un arc de trois degrés, il perdra $10\frac{1}{4}$ secondes par jour dans un arc de 4 degrés, et 4 secondes dans un arc de 5 degrés.

Dans tout ce que nous avons dit, on a supposé que la force de la gravité étoit constamment la même ; mais elle ne l'est pas dans toutes les latitudes, et la longueur assignée au pendule à secondes, demi et quart de secondes, ne convient qu'à la latitude de Londres. Un pendule pour vibrer les secondes sous l'équateur doit être un peu plus court; car le demi-diamètre équatorial de la terre étant de 70 milles plus long, que le demi-diamètre polaire, la force de gravité est moindre sous l'équateur que vers les pôles ; et elle est aussi beaucoup diminuée par la force centrifuge

qui provient du mouvement diurne de la terre, qui est à son maximum sous l'équateur. Voici le tableau de ces variations.

LONGUEUR DU PENDULE

POUR VIBRER LES SECONDES

A CHAQUE CINQ DEGRÉS DE LATITUDE.

Degrés de latitude.	Longueur du pendule.	Degrés de latitude.	Longueur du pendule.	Degrés de latitude.	Longueur du pendule.
	Pou. anglais.		Pou. anglais.		Pou. anglais.
0	39.027	35	39.084	65	39.168
5	39.029	40	39.097	70	39.177
10	39.032	45	39.111	75	39.185
15	39.036	50	39.126	80	39.191
20	39.044	55	39.142	85	39.195
25	39.057	60	39.148	90	39.197
30	39.070				

Trouver la longueur d'un pendule pour battre un nombre donné de vibrations *et vice versâ*. Prenez le pendule qui fait 60 oscillations dans une minute pour étalon de lon-

gueur, et dites : la longueur de l'étalon est à la longueur donnée, comme le carré d'un nombre donné de vibrations est au carré de 60. Si la longueur du pendule est connue, et qu'il faille déterminer le nombre de vibrations qu'il fait dans une minute, dites : la longueur donnée est à la longueur de l'étalon, comme le carré de 60 qui exprime les vibrations dans une minute, est au carré du nombre demandé dont la racine carrée sera le nombre de vibrations faites dans une minute.

En considérant un pendule simple ou une lentille suspendue par un fil, sans poids sensible, on suppose le poids total de la lentille réuni à son centre de gravité, et la longueur du pendule se mesure du centre de gravité au point de suspension. Mais quand le pendule se compose d'une lentille suspendue par une tige de métal, ou de bois, sa longueur est la distance du point de suspension au point du pendule appelé centre d'oscillation, qui ne coïncide pas exactement avec le centre de gravité de la lentille. Si on suspend une tige de fer, ou d'autre substance, et qu'on la fasse osciller, le point dans lequel toute sa force se réunit, et auquel, lorsqu'il se rencontre quelqu'obstacle, tout son mouvement cesse et passe à l'obstacle, s'appelle centre d'oscillation. Nous avons vu qu'une tige homogène exécute ses

oscillations dans le même temps qu'un pendule, consistant en une lentille et un fil, quoiqu'il n'ait que les deux tiers de la longueur du premier. D'après cela, un point pris au tiers de la longueur de la tige vers son bout inférieur, est le centre d'oscillation.

Un grand inconvénient que présente l'usage du pendule est la variation que sa longueur éprouve par l'effet de la chaleur qui dilate, et du froid qui contracte les pièces dont il se compose. La méthode la plus ordinaire d'y remédier, est de faire glisser la tige à travers la lentille sur laquelle elle passe, et de la prolonger un peu au-dessous. A la partie inférieure de cette tige est une vis avec un écrou sur lequel la lentille repose. Conséquemment, comme l'écrou peut monter ou descendre, la lentille avec son centre d'oscillation s'élève ou s'abaisse. Cette invention qui n'est pas merveilleuse, est peu employée ; le titre de compensateur de température ne se donne qu'à ces inventions qui contiennent en elles-mêmes le principe de régularisation, et qui agissent constamment. Nous en allons rapporter 2 ou 3 exemples.

En 1721, Graham construisit un pendule compensateur, et l'appliqua à une horloge, dont il compara pendant 3 ans la marche avec celle d'une horloge ordinaire qui passoit pour

très-bonne, et trouva que ses erreurs n'étoient que le huitième de celles de la dernière. Voici sur quels principes étoit construit ce pendule. Si un tube de verre ou de métal, uniforme dans son intérieur, rempli de mercure, et long de 58,8 pouces, est appliqué à une horloge, il vibrera les secondes, car 39,2=⅔ de 58,8, et un tel pendule admet une expansion et une contraction double, savoir : celle du tube et celle du mercure; mais comme elles sont en sens contraire, elles se corrigent mutuellement. Le tube s'allongera par l'effet de la chaleur, et le pendule vibrera moins rapidement, à raison même de cette circonstance. Le mercure se dilatera aussi par la chaleur; cette expansion élèvera la colonne, et, par conséquent, le centre d'oscillation. La distance de la lentille à ce point deviendra moindre, et le pendule fera, par cette raison, ses vibrations plus promptes. Il résulte de là que si le tube et le mercure sont bien ajustés, le temps continuera par ce moyen d'être indiqué, sans retard ni avance sensibles.

Le pendule *compensateur*, qui a justement obtenu une haute célébrité, est une invention de même espèce. Au lieu d'une tige, ce pendule en contient un nombre impair, comme 5, 7, 9, qui sont réunies de manière que l'effet des unes

neutralise celui des autres, de telle sorte que, si elles sont bien ajustées, les centres de suspension et d'oscillation conservent toujours la même distance entre eux. La *fig.* 6, *pl. VI*, représente un pendule composé de neuf tiges d'acier et de cuivre qui alternent. Les deux tiges extrêmes AB, CD, qui sont d'acier, sont attachées aux traverses AC, BD, par le moyen de goupilles. Les deux tiges suivantes EF, GH, sont de cuivre et attachées à la barre inférieure B D et à la seconde traverse supérieure E G. Les deux tiges suivantes sont d'acier et attachées aux traverses E G et I K. Les deux tiges adjacentes à la tige du centre, sont de cuivre et attachées aux traverses I K, L M; et la tige centrale à laquelle est fixée la lentille est suspendue à la traverse L M, et passe librement à travers des trous percés dans les barres I K, B D. Par cette disposition, il est évident que par l'expansion des tiges extrêmes, la traverse B D et les tiges qu'elle contient descendront; mais puisque ces tiges sont à la même température, la traverse E G s'élèvera d'autant, ainsi que les deux tiges voisines; mais ces tiges sont aussi dilatées; la traverse I K descendra donc, et la pièce L M s'élèvera par l'expansion des deux suivantes, d'une quantité suffisante pour corriger l'expansion de la tige centrale : ainsi, l'effet de ces tiges d'acier est

d'augmenter la longueur du pendule dans les temps chauds, et de les diminuer dans les temps froids; les tiges de cuivre produisent en même temps l'effet contraire. Cet effet des tiges de cuivre doit équivaloir non seulement à celui des tiges d'acier, mais aussi à celui de la partie au-dessus du cadre et du ressort qui le suspend, et à la partie comprise entre le bas du cadre et le centre de la lentille.

Une autre excellente invention, pour le même objet, est celle d'une barre de même métal que la tige du pendule, et de même dimension, placée contre le derrière de la cage de l'horloge; à son sommet est une partie saillante à laquelle la partie supérieure du pendule est attachée par deux chaînes très-fines ou un ruban de soie, qui passent entre deux plaques de cuivre dont les bords inférieurs terminent la longueur du pendule à la partie supérieure. Ces plaques sont supportées sur un piédestal fixé au dos de la cage. La barre pose sur une base immobile à la partie inférieure et est insérée dans une rainure qui la maintient dans la même position. On voit, d'après cette construction, que l'expansion ou la contraction de cette barre et de la tige du pendule, seront égales en sens contraire. Car, supposons la tige du pendule, dilatée d'une quantité donnée par la chaleur,

comme le bout inférieur de la barre repose sur un point fixe, la barre s'allongera par le haut et élèvera le bout supérieur du pendule, justement autant que sa longueur s'est accrue; celle-ci sera, par conséquent, la même au-dessous des plaques qu'elle étoit auparavant. Voici la description de ce pendule. A, B, *fig.* 7, *pl. VI*, sont deux tiges d'acier, prises dans la même barre, forgées de même, trempées ensemble, et semblables sous tous les rapports. Au haut de B est une potence C; cette tige est fermement supportée par une console d'acier D fixée sur un grand bloc de marbre E placé solidement dans la muraille; elle se meut librement vers le haut dans des anneaux de cuivre 1, 2, 3, 4, qu'elle touche seulement dans un point sur le devant et sur le derrière; à l'autre tige est fermement fixée par son centre, une lentille G de 24 livres. Ce pendule est suspendu par un ressort d'acier, à la potence en C. Tout ceci est entièrement indépendant de l'horloge. Au derrière de cette horloge I sont fermement attachés deux supports presque cycloïdaux en K exactement dans la ligne du centre de la tige L. La puissance motrice est appliquée par une verge d'acier cylindrique, comme dans les régulateurs ordinaires en M. Maintenant, il est évident que si une dilatation ou une contraction a lieu, elle affecte également ces ti-

ges semblables ; l'effet de l'une se trouve sur-le-champ corrigé par celui de l'autre. Toutes les espèces d'acier ne conviennent pas pour établir ces tiges, l'acier fondu est le meilleur, à raison de l'uniformité de sa contexture.

Le mode le plus convenable d'atténuer dans le pendule simple les erreurs qu'entraînent les changemens de température, est de faire la verge en bois très-sec, dont la contraction ou l'expansion en longueur est très-petite. Il faut le choisir dans son état naturel, sans peinture ni vernis ou d'autres préparations. Dans un pendule de cette espèce, la lentille doit être très-pesante, et décrire de petits arcs de vibrations.

Dans la construction des horloges destinées à mesurer le temps avec la plus grande exactitude possible, on doit aussi faire la compensation de la résistance de l'air, qui, par son inégale densité, fait varier le poids du pendule et doit retarder ou accélérer un peu ses mouvemens. David Rittenhouse, qui s'est occupé de ce sujet, estime la différence de vitesse provenant de cette cause, à une demi-seconde par jour. Il propose comme un moyen facile d'y remédier, de faire usage d'une tige inflexible à l'extrémité de laquelle est disposée la lentille, et de la prolonger au-delà du centre de suspension. A l'extrémité doit être placée

une autre lentille de même dimension, mais aussi légère que possible. Cette lentille supérieure accélérera les oscillations, de la même quantité que l'inférieure aura été retardée, et ces deux effets se compenseront entr'eux. L'inventeur a construit sur ce principe un pendule qui avoit en tout un pied de longueur et faisoit dans l'air 57 vibrations par minute. Plongé entièrement dans l'eau, le nombre de ses vibrations dans le même temps étoit de 59. Cela prouve, contrairement à ce qui a lieu avec le pendule ordinaire, que ses oscillations étoient plus vives dans un milieu dense comme l'eau, que s'il avoit été dans l'air. Quand il n'y avoit que la lentille inférieure de plongée dans l'eau, le pendule ne faisoit plus que 44 vibrations par minute.

AXIOMES MÉCANIQUES, OU TABLEAU DES DÉFINITIONS ET DES PRINCIPES LES PLUS IMPORTANS DE CETTE SCIENCE.

Il est utile, lorsqu'on a étudié une branche des connoissances humaines, d'avoir une suite d'aphorismes qui en rappellent les principes, et les gravent dans la mémoire.

De la matière.

1°. Chaque partie de matière est douée de

solidité, d'étendue, de divisibilité, mobilité, inertie, attraction et répulsion.

2°. La *solidité* est la propriété en vertu de laquelle deux corps ne peuvent, en même temps, occuper la même place. On l'appelle quelquefois impénétrabilité de la matière.

3°. L'*étendue* se prouve, comme la solidité, par l'impossibilité où sont deux corps d'exister simultanément à la même place.

4°. La *divisibilité* est cette propriété qui rend un corps susceptible de se diviser en parties distinctes les unes des autres.

5°. *Mobilité* exprime l'aptitude de la matière à changer de place, ou à passer d'une partie de l'espace dans une autre.

6°. L'*inertie* est un mot qui désigne l'indifférence de la matière au mouvement ou au repos; si elle est dans ce dernier état, elle y reste jusqu'à ce que quelque cause vienne lui donner l'impulsion; si elle est en mouvement, elle continue avec la même vitesse et dans la même direction, jusqu'à ce que quelque obstacle vienne l'arrêter.

De l'espace.

1°. L'espace est ou absolu ou relatif.

2°. L'*espace absolu* est l'étendue illimitée, immuable et sans parties; cependant, pour

la commodité du langage, on en parle comme s'il en avoit; de là l'expression :

3°. *Espace relatif*, qui signifie que la partie de l'espace absolu occupée par un corps, peut être comparée à celle qu'en occupe un autre.

De l'attraction.

1°. L'attraction indique la propriété qu'ont les corps de se rapprocher les uns des autres.

2°. Il y a cinq espèces d'attraction : l'attraction de *cohésion*, de *gravitation*, d'*électricité*, de *magnétisme*, et l'*attraction chimique*.

3°. L'attraction de cohésion ne s'exerce qu'à de très-petites distances.

4°. La force d'attraction de cohésion variant suivant la nature des corps, on suppose qu'elle en détermine les divers degrés de dureté.

5°. L'attraction capillaire n'est qu'une modification ou une branche de l'attraction de cohésion.

6°. L'attraction de gravitation s'exerce de molécule à molécule, quelle que soit la distance où elles se trouvent, mais avec des intensités variables.

7°. La gravitation décroît au-dessus de la surface de la terre, comme le carré de la dis-

tance augmente, et au-dessous, en raison directe de sa distance au centre.

De la répulsion.

1°. La répulsion est cette propriété en vertu de laquelle les corps se repoussent, pour peu qu'ils soient placés au-delà de la sphère de leur attraction de cohésion.

2°. L'huile refuse de se mêler à l'eau, parce qu'il y a répulsion entre les particules des deux substances (c'est par la même cause qu'une aiguille légère nage à la surface de l'eau sur laquelle elle est doucement placée.

Du mouvement.

1°. Le *mouvement absolu* est le mouvement dont sont actuellement animés les corps, considérés indépendamment les uns des autres, et seulement par rapport aux parties de l'espace.

2°. Le *mouvement relatif* est le degré et la direction du mouvement d'un corps, comparés avec celui d'un autre.

3°. Le *mouvement accéléré* est celui dont la vitesse augmente continuellement.

4°. Le *mouvement est retardé* lorsque la vitesse décroît continuellement. On dit que le mouvement est *uniformément retardé*, quand

il décroît également dans des temps égaux.

5°. La vitesse du mouvement uniforme, se mesure par le temps employé à parcourir un certain espace, ou, ce qui est la même chose, par l'espace parcouru en un certain temps.

6°. On estime la vitesse, en divisant l'espace franchi par le temps.

7°. On évalue l'espace parcouru, en multipliant la vitesse par le temps.

8°. Dans le mouvement accéléré, l'espace parcouru est comme le carré du temps, au lieu d'être directement comme le temps, ainsi que cela a lieu dans le mouvement uniforme.

9°. Un corps poussé par une seule force, se meut toujours en ligne droite.

10°. Les corps poussés par deux seules impulsions, égales ou inégales, décrivent aussi une ligne droite.

11°. Mais quand un corps est poussé par une force uniforme, ou un seule impulsion, et une autre force retardée ou accélérée, il décrit une *courbe*.

12°. La courbe décrite par un corps projeté de la terre et retombant par l'action de la gravité, seroit une parabole dans un milieu sans résistance; mais attendu la résistance de l'air, qui, lorsque la vitesse est très-grande, est souvent égale à 100 fois le poids du projec-

tile, la courbe décrite se rapproche beaucoup d'une hyperbole.

13°. Le moment d'un corps est la force avec laquelle il se meut, et est proportionnel à son poids ou à sa masse, multipliée par sa vitesse.

14°. Les actions des corps les uns sur les autres sont toujours égales, et s'exercent dans des directions opposées ; ainsi un corps qui agit sur un autre, perd autant de force qu'il en communique.

Des forces centrales.

1°. Les forces centrales sont les forces *centrifuge* et *centripète*.

2°. On appelle force centrale la tendance qu'ont les corps qui tournent autour d'un centre, à échapper par une tangente à la courbe suivant laquelle ils se meuvent.

3°. La force centripète est celle qui empêche un corps de s'échapper, en le ramenant vers le centre, comme l'attraction de gravitation.

Du centre de gravité.

1°. Le centre de gravité d'un corps est le point autour duquel toutes ses parties se font équilibre dans toutes les positions.

2°. La verticale qui passe par le centre de gravité d'un corps s'appelle ligne de direction.

3°. Quand la ligne de direction est en dedans de la base d'un corps, celui-ci ne peut se renverser ; mais il tombe si elle en sort.

Du levier.

1°. Il y a trois espèces de leviers, qui se classent suivant la position que le point d'appui et la puissance ont l'un par rapport à l'autre. Dans la *première* espèce de leviers, le point d'appui est placé entre la puissance et le poids. Dans la *seconde*, l'une est à une extrémité et l'autre à l'autre, et le poids entre eux. Dans la *troisième*, la puissance est appliquée entre le point d'appui et le poids.

2°. Dans tous ces leviers, la puissance est au poids, comme la distance du poids au point d'appui est à celle de la puissance à ce même point.

3°. Un marteau qu'on emploie à arracher des clous est un levier de la première espèce.

4°. Les ciseaux, les pinces, les mouchettes sont de leviers de la première espèce.

5°. La romaine est encore un levier de la première espèce, avec un poids mobile.

6°. La balance ordinaire est aussi un levier

de la première espèce, avec des bras égaux ; une balance parfaite doit réunir les qualités suivantes : 1° Les bras du fléau seront exactement égaux en poids et en longueur, et seront aussi longs que possible relativement à leur épaisseur. 2° Les points sur lesquels les plateaux sont suspendus, seront en ligne droite avec le centre de gravité du fléau. 3° Le point d'appui doit être un peu plus haut que le centre de gravité. 4°. L'axe de mouvement doit être fait en lame, comme un couteau, et les points sur lesquels il porte doivent être en acier poli et trempé. 5° Les pivots qui forment l'axe de mouvement seront en ligne droite et à angle droit avec le fléau.

7°. Les meilleures balances ne sont pas calculées pour déterminer les poids avec certitude à plus de cinq décimales.

8°. Les rames et le gouvernail des vaisseaux sont des leviers du second ordre. Le soufflet est composé de deux leviers de la même espèce.

9°. La troisième espèce de leviers doit être employée aussi rarement que possible, par le désavantage qu'elle donne à la puissance motrice, dont l'intensité doit toujours excéder la résistance. Cependant, dans quelques cas, ce désavantage est balancé par la promptitude des mouvemens, et le petit espace dans

lequel ils s'exercent; de là son application aux os du bras, et aux membres des animaux en général.

10°. Dans les leviers composés, la puissance est au poids, en raison composée des divers rapports que ces puissances qui peuvent soutenir le fardeau à l'aide de chaque levier, quand elles sont employées seules et à part du reste, ont avec le poids.

De la poulie.

1°. Il y a deux espèces de poulies, les *fixes* et les *mobiles*.

2°. Les poulies fixes tournent sur leur axe, et n'offrent aucun avantage mécanique; ainsi, quand la puissance et le poids sont égaux, ils se font équilibre. On les emploie pour changer la direction du mouvement.

3°. La poulie mobile tourne non seulement sur son axe, mais elle s'élève et s'abaisse avec le poids.

4°. Chaque poulie mobile peut être considérée comme suspendue par deux cordes également tendues, et qui, par conséquent, portent des portions de poids égales; aussi chaque poulie de cette espèce double la puissance.

5°. Une poulie avec une gorge spirale sur un cône tronqué, comme la fusée d'une montre, sert à maintenir un équilibre ou rapport

constant entre deux puissances, dont les forces relatives changent continuellement.

Du treuil.

1°. La puissance doit être au poids, pour qu'il y ait équilibre, comme la circonférence de la roue est à celle de l'axe.

2°. Comme les diamètres des différens cercles ont entre eux le même rapport que leurs circonférences respectives, la puissance est aussi au poids comme le diamètre de la roue est à celui de l'axe.

3°. Si une roue en mène une autre d'égale circonférence, il n'y aura pas de puissance gagnée; elles se mouvront toutes deux avec une égale vitesse.

4°. Mais si l'une des roues en conduit une autre d'un diamètre différent, plus grand ou plus petit, leurs vitesses seront en raison inverse de leurs diamètres, circonférences ou nombres de dents.

5°. Le treuil peut être considéré comme un levier perpétuel, par le renouvellement constant des points de suspension de la résistance. Le point d'appui est le centre de l'axe, le bras le plus long est le rayon de la roue, et le plus court, celui de l'axe.

6°. La grue et beaucoup d'autres machines sont principalement composées de treuils.

Du plan incliné.

1°. La puissance et le poids se font équilibre, quand la première est au dernier, comme la hauteur est à la longueur du plan.

2°. En estimant le tirage d'un chariot ou autre voiture qui gravit une montagne, il faut ajouter celui qui auroit lieu sur le niveau. Ainsi, si la montagne s'élève d'un pied sur quatre, on doit ajouter un quart du poids au tirage, sur un terrain de niveau.

Du coin.

1°. Quand la résistance agit perpendiculairement aux côtés, c'est-à-dire, lorsque le coin n'a pas déterminé la fente à une certaine distance, il y a équilibre entre la résistance et la puissance, quand cette dernière est à la première, comme la moitié de l'épaisseur du dos du coin est à la longueur d'un de ses côtés.

2°. Quand la résistance sur chaque côté agit parallèlement au dos, c'est-à-dire, lorsque le coin a fendu à quelque distance, la puissance est à la résistance, comme la longueur totale du dos est au double de sa hauteur perpendiculaire.

3°. Plus le coin est mince, plus la puissance est grande.

4°. Plus loin un coin a pénétré, plus grande est sa puissance, les côtés de la fente lui offrant l'avantage d'opérer par deux leviers.

5°. Les haches, les ciseaux, les aiguilles, les couteaux et tous les instrumens tranchans ou pointus, augmentant graduellement en épaisseur, agissent sur le principe du coin.

De la vis.

1°. La vis est un plan incliné qui enveloppe un cylindre.

2°. Elle est généralement employée avec un levier ; la puissance est au poids, comme la distance d'un filet ou spirale à l'autre est à la circonférence du cercle décrit par la puissance.

3°. Le frottement d'une vis est très-grand ; circonstance qui permet aux machines de soutenir un poids ou de presser sur un corps après que la puissance qui les mettoit en action a cessé d'agir.

4°. Une vis coupée sur un axe pour servir de pignon, prend le nom de vis sans fin.

5°. La vis sans fin est très-utile pour convertir un mouvement rapide en un mouvement lent, ou, *vice versâ*, parce que la

roue ne tourne à chacune de ses révolutions que d'une dent.

Des machines composées.

1°. Dans toutes les machines simples ou composées, ce qu'on gagne en puissance on le perd en temps; mais la perte de temps est compensée par la commodité.

2°. On évalue la puissance mécanique d'une machine, en mesurant l'espace décrit en même temps par la puissance et la résistance, ou le poids, ou en multipliant entre eux les divers rapports qu'il y a entre la puissance et le poids dans chaque puissance mécanique simple dont elle est composée.

3°. La puissance d'une machine n'est pas altérée en variant la grandeur des roues, pourvu que la proportion produite par la multiplication de la puissance des différentes parties reste la même.

4°. Dans la construction des machines, on doit viser à la simplicité des parties et à l'uniformité du mouvement.

5°. Les dents des roues doivent toujours être aussi nombreuses que possible, et si on a besoin d'une grande force, on doit l'obtenir en augmentant la largeur ou l'épaisseur des roues.

6°. L'usage de la bielle ou de la manivelle est un des meilleurs modes de convertir un mouvement réciproque en mouvement rotatoire, et *vice versâ*.

Du volant.

1°. Le volant est un *réservoir* de puissance; il sert à égaliser le mouvement d'une machine.

2°. Cette égale distribution du mouvement est le seul avantage qu'on retire du volant, qui ne peut donner une puissance qu'il n'a pas.

3°. Quand on n'emploie le volant que comme régulateur, il doit être placé près du premier moteur; s'il doit accumuler la force dans le point travaillant, il ne faut pas qu'il en soit éloigné.

Du frottement.

1°. Le frottement est occasionné par la rugosité et la cohésion des corps.

2°. Il est en général égal à la moitié ou au quart du poids, ou force avec laquelle les corps se pressent entre eux.

3°. Il est peu augmenté par l'augmentation des surfaces en contact.

4°. Il augmente à un degré extraordinaire par la durée du contact.

5°. Deux métaux de même espèce ont plus de frottement que deux métaux différens.

6°. L'acier et le cuivre sont les deux métaux qui exercent le moins de frottement l'un sur l'autre.

7°. La règle générale pour diminuer le frottement consiste à substituer la rotation au glissement.

Hommes et chevaux considérés comme premiers moteurs.

1°. En tournant une manivelle, un homme déploie des proportions différentes de force dans les diverses parties du cercle. Sa plus grande force se développe quand il tire la manivelle de la hauteur de ses genoux, et la plus foible quand il la pousse horizontalement devant lui.

2°. Quand des manivelles sont adaptées à chaque extrémité du même axe, elles doivent être placées à angle droit entre elles.

3°. L'art de porter de pesans fardeaux consiste à tenir la colonne du corps aussi droite et aussi directement sous le poids qu'il est possible.

4°. Le cheval exerce sa force avec le plus grand désavantage quand il tire en gravissant une montagne.

5°. La force du cheval se compose de son poids et de sa force musculaire.

6°. Le cercle dans lequel marche un cheval de manége ne doit pas avoir moins de 40 pieds de diamètre.

7°. Un cheval exerce sa plus grande force quand il tire sur un plan.

Des moulins.

1°. Il y a trois espèces de roues à eau : celles qui reçoivent l'eau en dessous dans des auges, les roues à aubes et les roues à pots qui reçoivent l'eau en dessus. Les puissances nécessaires pour produire le même effet dans chacune de ces roues doivent être dans le même rapport que les nombres 2.4, 1.75 et 1.

2°. La roue qui reçoit l'eau en dessous n'est employée que lorsqu'on ne peut se procurer une chute.

3°. Une roue à eau, d'une largeur double de celle d'une autre, a une puissance plus que double.

4°. Un axe, portant une spirale très-oblique et placée dans la direction du courant, peut devenir un puissant moteur quand le cours d'eau est lent et profond.

5°. Une meule doit faire 120 révolutions dans une minute.

6°. Les roues d'angle servent à changer la

direction du mouvement dans les engrenages.

7°. Le joint universel de Hooke est quelquefois employé avec succès au même usage.

8°. Les dents d'une roue ne doivent jamais, à moins qu'on ne puisse faire autrement, agir l'une sur l'autre, avant qu'elles arrivent à la ligne qui joint leurs centres.

9°. Pour obtenir une uniformité de pression et de vitesse dans l'action d'une roue sur une autre, les dents doivent être formées en épicycloïdes ou en développantes de la circonférence de leurs roues respectives; ou si les dents d'une roue sont circulaires ou triangulaires, celles de l'autre doivent avoir une figure composée d'une épicycloïde et de celle de la figure de la première roue.

10°. On donne aux dents cette conformation afin qu'elles puissent rouler et non glisser l'une sur l'autre; ce qui diminue beaucoup le frottement.

11°. C'est une grande amélioration dans les machines qui emploient des lanternes à fuseaux cylindriques, de faire ces fuseaux mobiles sur leurs axes.

12°. Une meule pesante exige un peu plus de puissance qu'une légère, mais elle fait beaucoup plus d'ouvrage, et elle égalise ses mouvemens comme feroit un volant pesant.

13°. Le blé se projette dans les meules par la force centrifuge qu'il a acquise.

14°. Le travail manuel de remplir des sacs de farine pour les élever au haut du moulin peut être avantageusement remplacé par une chaîne de vases, qu'une machine met en jeu.

Des roues de voitures.

1°. Un cheval tire avec le plus grand avantage quand la ligne de traction ou de tirage est inclinée de manière à faire un angle de 15 degrés avec l'horizon.

2°. Par cette inclinaison, la ligne de traction est à angle droit avec la forme des épaules du cheval, dont toutes les parties sont également pressées par le collier.

3°. Les chevaux isolés sont préférables aux attelages, parce que, dans ce cas, ils tirent, à l'exception du timonier, horizontalement, et conséquemment avec désavantage.

4°. Un cheval sur le dos duquel presse une partie du poids, traîne un fardeau qu'il ne pourroit enlever s'il n'étoit pas attelé de cette manière.

5°. Dans les chariots, les roues de devant sont moins hautes que celles de derrière, afin de pouvoir tourner dans un petit espace.

6°. En montant, les roues hautes facilitent le tirage proportionnellement au carré de leur

diamètre; mais elles pressent dans la même proportion en descendant.

7°. En descendant, il y a de l'avantage à jeter le corps d'une charrette en arrière, de telle sorte que son fond soit horizontal, pendant que les brancards sont inclinés vers le bas.

8°. En chargeant les chariots à quatre roues, il faut placer le plus grand poids sur les grandes roues.

9°. Les roues dévoyées sont plus convenables que les autres pour soutenir les secousses et les pressions inégales, occasionnées par l'irrégularité des routes.

10°. Les extrémités des essieux doivent être dans le même plan horizontal, et les roues placées à angle droit par rapport à eux.

11°. Les roues à larges jantes unissent et durcissent la route, tandis que celles qui sont étroites ouvrent des ornières et réduisent les pierres les plus dures en poudre.

De l'horlogerie.

1°. Pour reconnoître le nombre de révolutions que fait un pignon pour une révolution de la roue avec laquelle il engrène, divisez le nombre de ses dents par celui des dents de la roue; le quotient sera le nombre cherché.

2°. En augmentant le nombre des dents des roues, en diminuant le nombre de celles

des pignons, en augmentant la longueur de la corde qui suspend le poids; enfin, en ajoutant de nouvelles roues et de nouveaux pignons, on peut faire aller une horloge pendant un mois, une année, sans la remonter.

3°. L'inconvénient de prendre beaucoup de place, mais surtout l'augmentation de frottement qui en résulte, empêchent de faire des horloges qui aillent beaucoup au-delà de huit jours.

4°. Les montres marines ou chronomètres sont construites pour marcher pendant qu'on les remonte.

5°. Les horloges qui ont un pendule vibrant les demi-secondes, ont ordinairement pour moteur un ressort au lieu d'un poids.

6°. Un ressort est dans sa plus grande force quand il vient d'être remonté; cette force décroît graduellement jusqu'à ce que le mouvement s'arrête : c'est pourquoi on a imaginé de tirer la chaîne, qui est enveloppée sur une fusée conique, de manière que le levier de la poulie s'allonge quand il devient plus foible : les effets se trouvent ainsi égalisés.

7°. Les platines à diviser des horloges peuvent servir à diviser des dents en nombre impair, en soustrayant de ce nombre impair un nombre de dents convenable afin qu'il en reste

un qui soit pair de subdivision facile; alors, en calculant le nombre de degrés contenu dans les parties soustraites, on les ôte de la circonférence du cercle au moyen d'un secteur.

8°. Le rayon géométrique des roues, quand les dents sont épicycloïdales, est moindre que le diamètre agissant d'environ les $\frac{3}{4}$ de la largeur d'une dent ou mesure.

9°. La grandeur relative d'un pignon doit être moindre dans une petite roue que dans une grande, et aussi plus petite quand elle est menée que quand elle mène.

Des pendules.

1°. Toutes les vibrations d'un pendule, grandes ou petites, pourvu qu'elles soient cycloïdales, se font dans des temps égaux.

2°. Plus un pendule est long, plus ses vibrations sont lentes.

3°. Un pendule à vibrer les secondes doit être plus court à l'équateur qu'aux pôles.

4°. La chaleur allonge et le froid raccourcit les pendules.

5°. Le pendule à mercure, le pendule compensateur, et beaucoup d'autres, ont été inventés pour remédier aux effets que produit le changement de température.

6°. Les vibrations des pendules sont affec-

tées par les différences de densité des milieux dans lesquels elles sont faites. La seule invention capable de remédier à ce défaut est due à Rittenhouse.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE VOLUME.

DE LA MATIÈRE.

HORLOGERIE.

TABLE

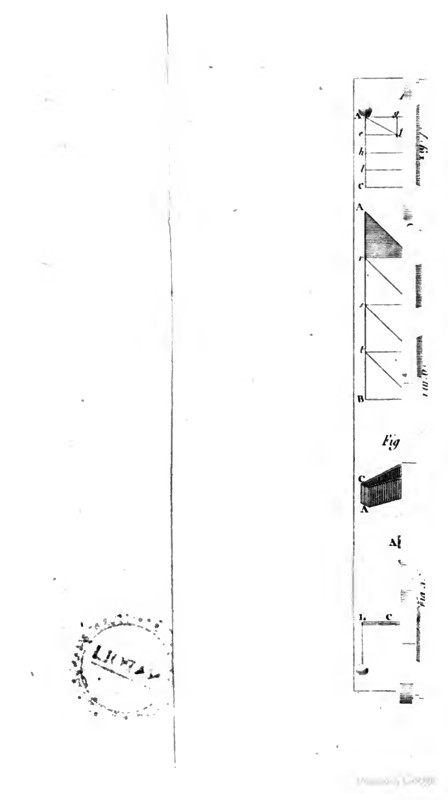
DES PLANCHES DU VOLUME.

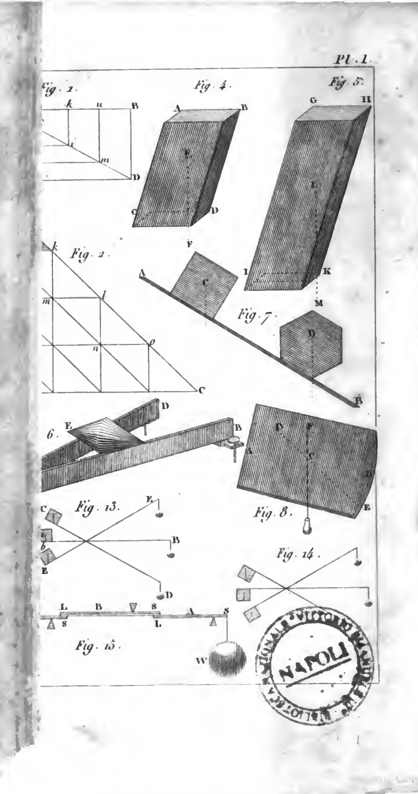
Les planches renfermant des transpositions, on devra consulter cette table, qui offre le n° de la page, celui de la figure, et la planche où se trouve décrite cette figure.

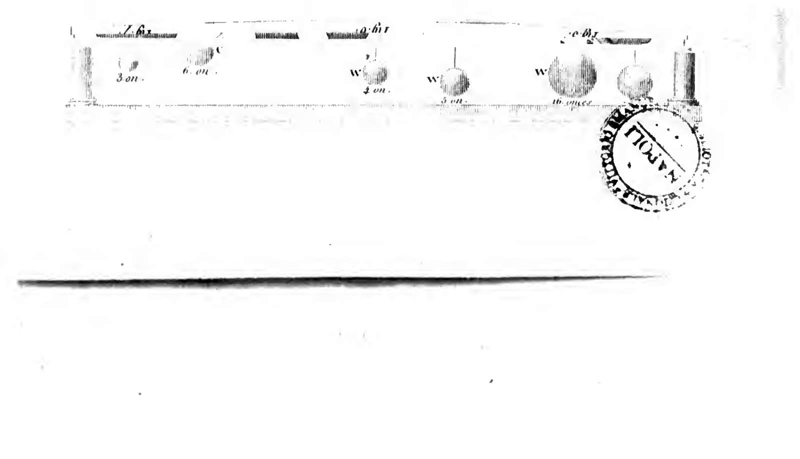
Pag. 80,	fig. 9,	pl. suppl. aux pl. I, II, III.
81	10	*idem.*
84	11	*idem.*
88	1, 2	*idem.*
90	4	III.
92	5, 6, 7,	*idem.*
95	8	*idem.*
99	9, 10	*idem.*
102	11	*idem.*
109	12	VI, au coin
110	4	III.
161	1, 2	IV.
162	3	V b.
163	4, 5	IV *bis.*
164	6, 7	IV *bis.*
164	8	V a.
165	10	IV *bis.*
166	11, 12	*idem.*
169	13	V a, au coin.
170 174	14	V b.

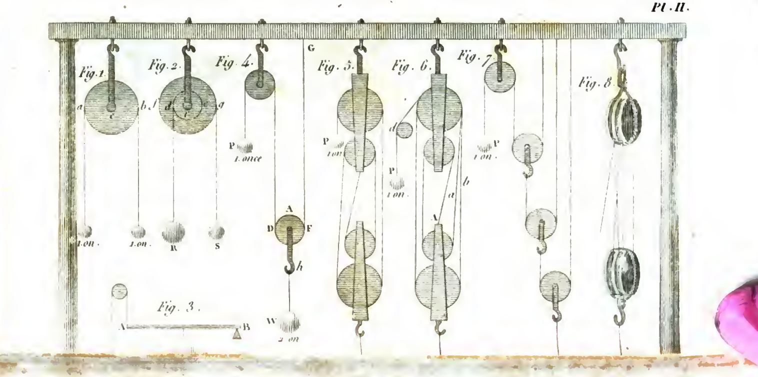
Pag. 174	fig. 1	pl. v b.
176	2	vi a, au bas.
177	3	v a.
179	4	*idem.*
181	5	v c.
182	6, 7	v d.
185	8	vi a, au coin.
193	9	v b.
205	1	vi b.
206	2	vi a.
214	3	vi b.
231	4	vi a.
233	5	vi b.
239	6	vi b.
241	7	vi á.

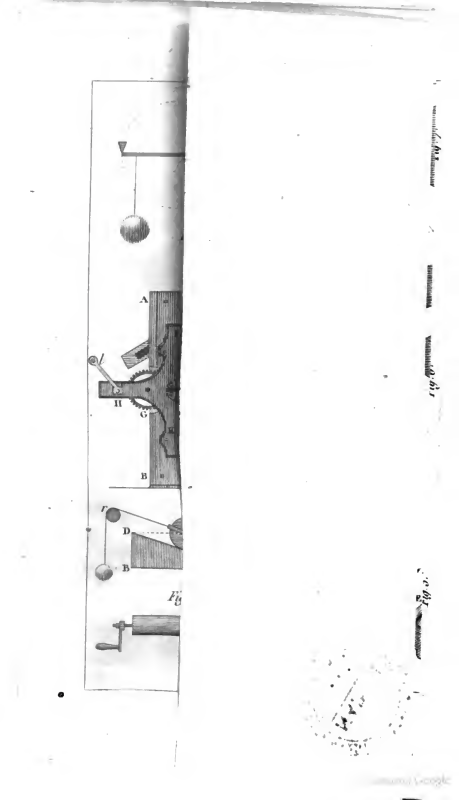
FIN DE LA TABLE.


A
g
e
d
h
l
C
A
r
s
t
B
Fig
C
A
A
L
C

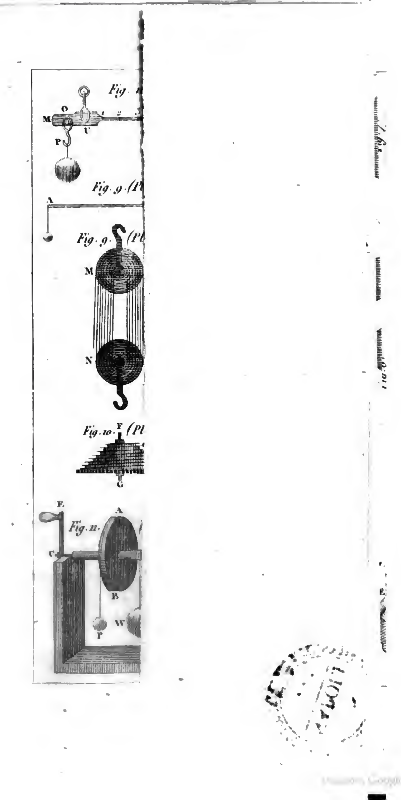

Fig. 1.
k
u
B
i
m
D
Fig. 4.
A
B
E
C
D
F
Fig. 5.
G
H
L
I
K
M
Fig. 2.
k
m
l
n
o
C
A
C
Fig. 7.
D
B
6.
E
D
B
A
D
F
C
B
E
Fig. 8.
Fig. 13.
C
E
B
E
D
Fig. 14.
L
B
S
S
L
A
S
W
Fig. 15.

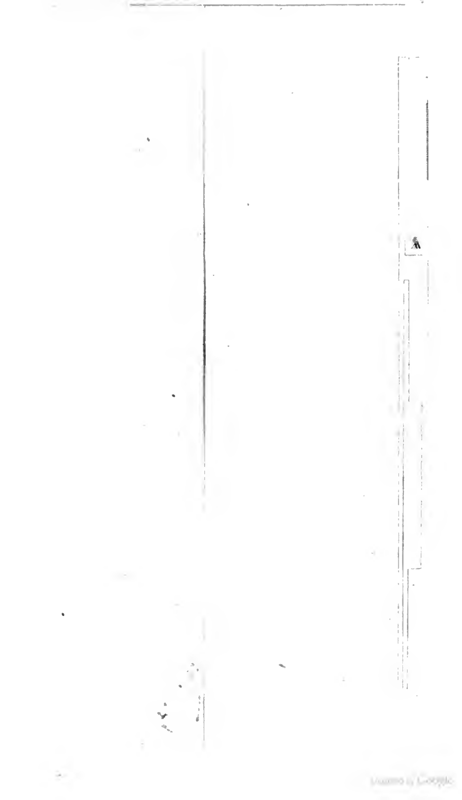

3 on.
6. on.
W
4 on.
W
5 on.
W
16 onces

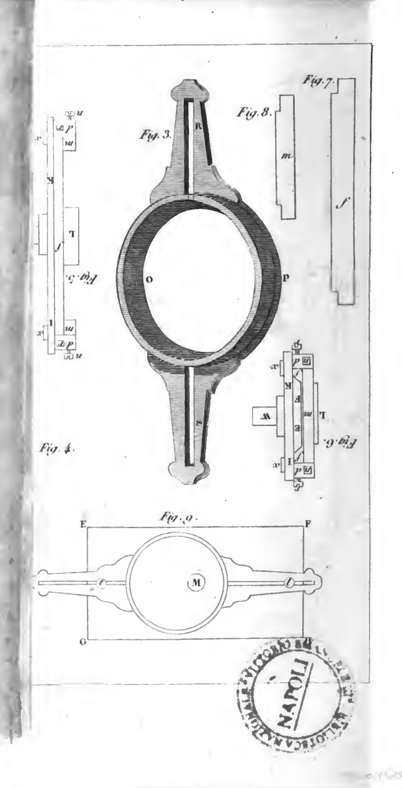

Pl. II.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
1. once
2 on



A
l
H
G
B
r
D
B


Fig. 8
M
O
U
P
1
2
3
Fig. 9 (Pl
A
Fig. 9 (Pl
M
N
Fig. 10. (Pl
F
G
E
Fig. 11.
A
C
B
P
W




Fig. 3.
R
O
P
S
Fig. 4.
Fig. 7.
f
Fig. 8.
m
Fig. 9.
E
F
G
H
M
t
t
NAPOLI

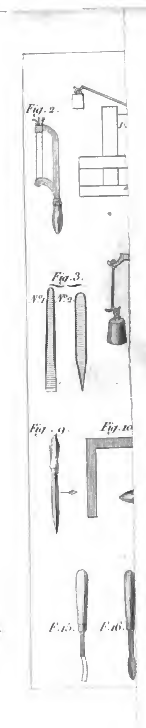
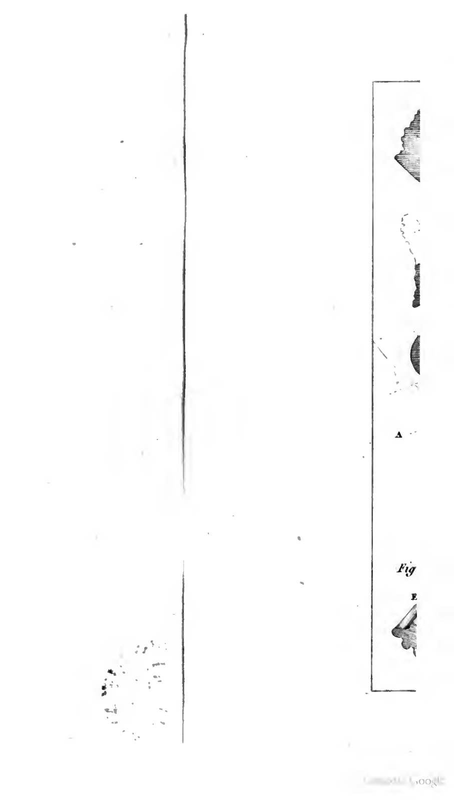
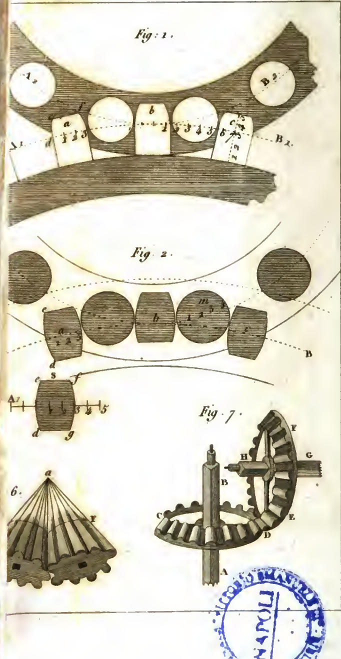


Fig. 2.
Fig. 3.
N°1
N°2
Fig. 9.
Fig. 10
F. 15.
F. 16.


A
Fig
E

Pl. IV.





Pl. IV.

Fig. 7.

Fig. 8.

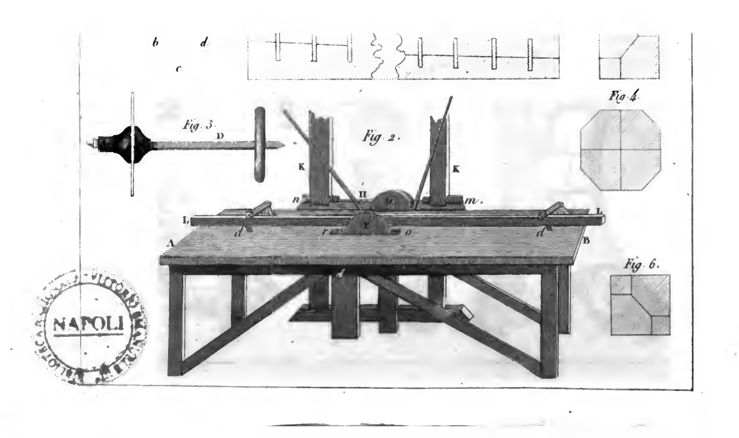
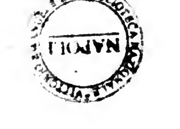

b
d
c
Fig. 3.
D
Fig. 2.
Fig. 4.
Fig. 6.
K
K
H
n
m.
L
L
d
d
r
o
A
B

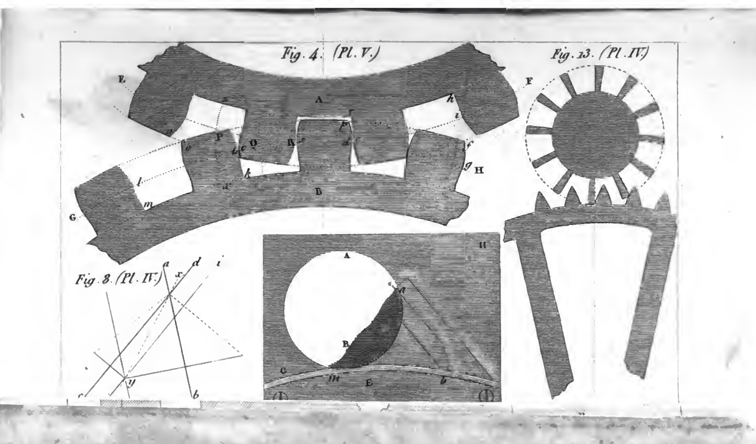

Fig.
i h g f a
B
p
Fig. 5.
a
b
f
g
c
h
i
p
B
q
r
c

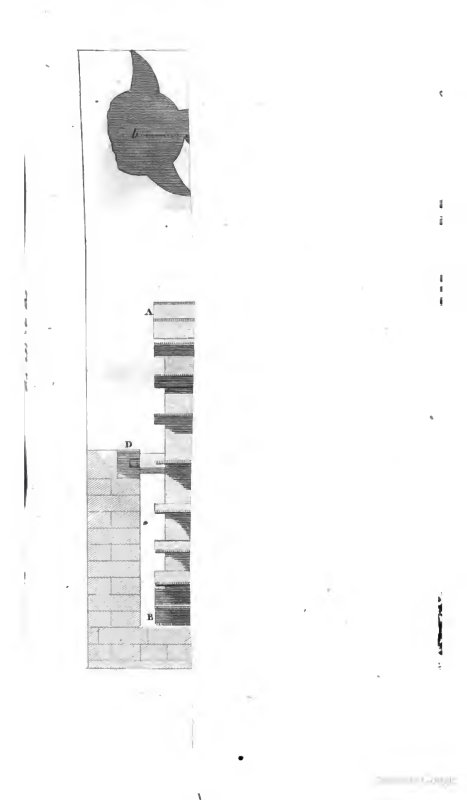
w

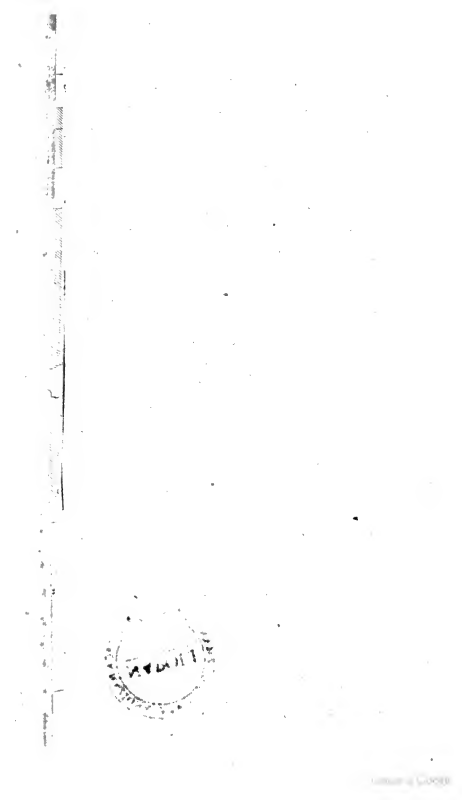
k

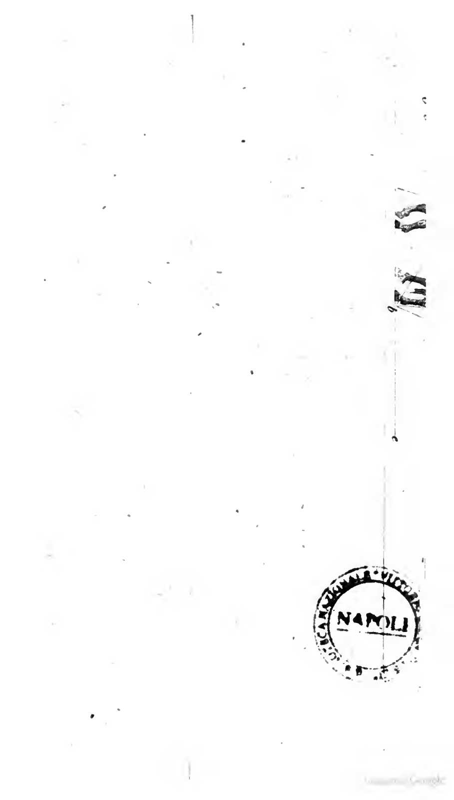
Fig 3. (Pl. V.)




Fig. 4. (Pl. V.)
Fig. 13. (Pl. IV.)
Fig. 8. (Pl. IV.)


b
A
D
B





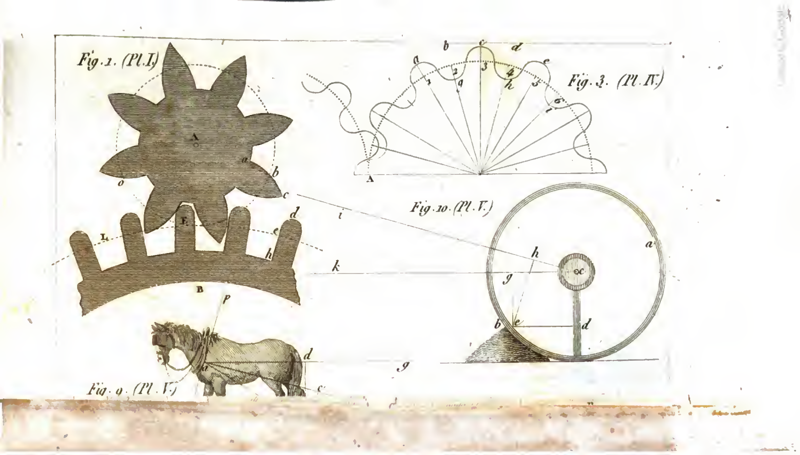
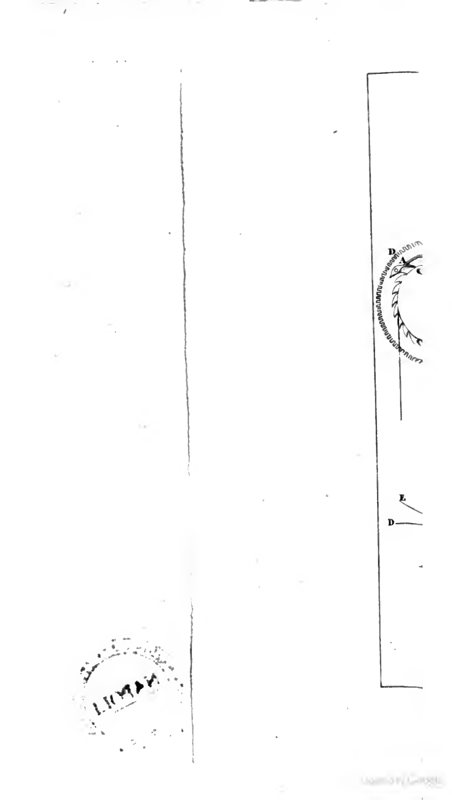
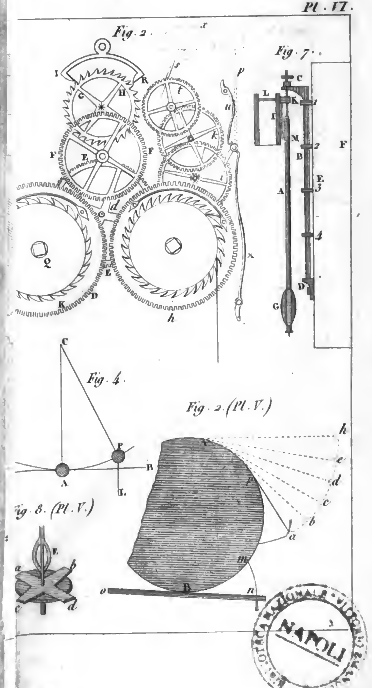

Fig. 1. (Pl. I.)
Fig. 3. (Pl. IV.)
Fig. 10. (Pl. V.)
Fig. 9. (Pl. V.)

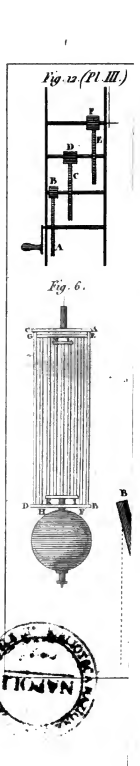
Fig. 5. (Pl. V.)

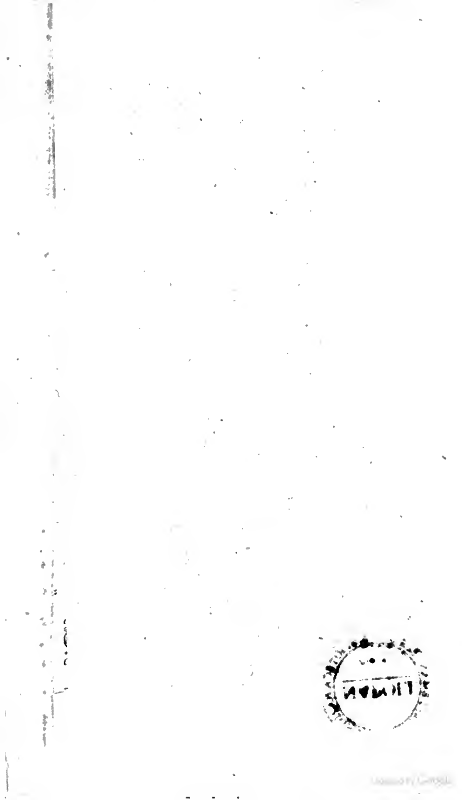
Fig. 14.

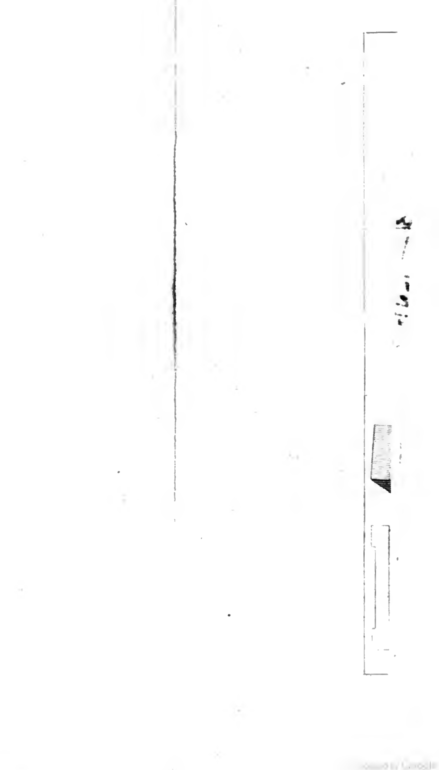


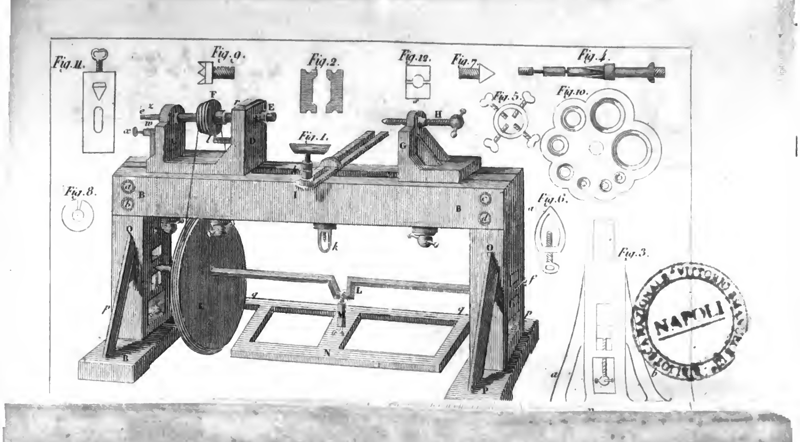

D
A
E
D


Fig. 2.
Fig. 7.
Fig. 4.
Fig. 2. (Pl. V.)
Fig. 8. (Pl. V.)


Fig. 12. (Pl. III.)
F
E
D
C
B
A
Fig. 6.
C
A
G
E
K
I
D
B
H
F
B






Fig.11.
Fig.9.
Fig.2.
Fig.12.
Fig.7.
Fig.4.
Fig.5.
Fig.10.
Fig.1.
Fig.8.
Fig.6.
Fig.3.
F
E
D
G
H
I
B
B
k
L
M
N
O
O
P
p
p
q
q
f
a
b
x
m
e
z
r

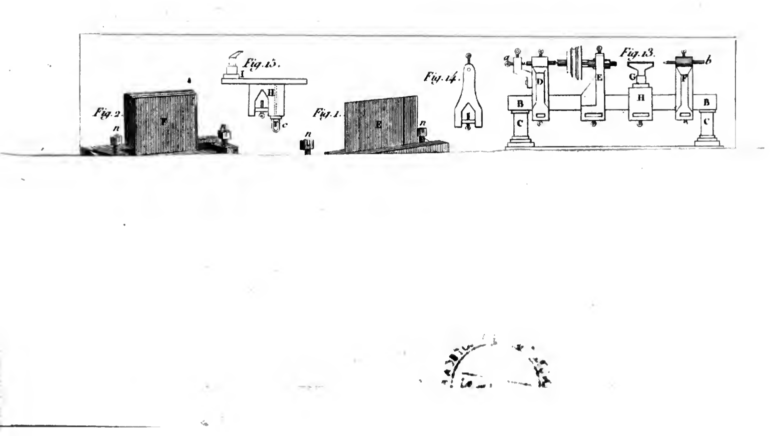


Fig. 2.
n
F
Fig. 15.
I
H
c
n
Fig. 1.
E
n
Fig. 14.
I
Fig. 13.
a
D
E
G
H
F
b
B
C
B
C

